

PCT/JP 2004/014142

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

20.10.2004

REC'D 09 DEC 2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 3 年   9 月 2 2 日  
Date of Application:

出 願 番 号            特 願 2 0 0 3 - 3 2 9 8 4 5  
Application Number:  
[ST. 10/C]:            [ J P 2 0 0 3 - 3 2 9 8 4 5 ]

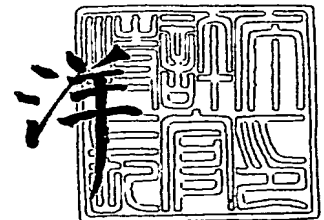
出   願   人            松 下 電 工 株 式 会 社  
Applicant(s):

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 1 1 月 2 5 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



BEST AVAILABLE COPY

出証番号   出証特 2 0 0 4 - 3 1 0 6 6 5 8

【書類名】 特許願  
【整理番号】 03P01495  
【提出日】 平成15年 9月22日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 G02B 26/08  
B81B 3/00

【発明者】  
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 4 8 番地 松下電工株式会社内  
【氏名】 岡 直正

【発明者】  
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 4 8 番地 松下電工株式会社内  
【氏名】 原田 宏

【発明者】  
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 4 8 番地 松下電工株式会社内  
【氏名】 荻原 淳

【発明者】  
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 4 8 番地 松下電工株式会社内  
【氏名】 福島 博司

【発明者】  
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 4 8 番地 松下電工株式会社内  
【氏名】 野毛 宏

【発明者】  
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 4 8 番地 松下電工株式会社内  
【氏名】 鈴木 裕二

【発明者】  
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 4 8 番地 松下電工株式会社内  
【氏名】 河野 清彦

【発明者】  
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 4 8 番地 松下電工株式会社内  
【氏名】 吉原 孝明

【発明者】  
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 4 8 番地 松下電工株式会社内  
【氏名】 鈴木 正彦

【特許出願人】  
【識別番号】 000005832  
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 4 8 番地  
【氏名又は名称】 松下電工株式会社

【代理人】  
【識別番号】 100083806  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 三好 秀和  
【電話番号】 03-3504-3075

【選任した代理人】  
【識別番号】 100108707  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 中村 友之

【選任した代理人】  
【識別番号】 100101247  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 高橋 俊一

**【選任した代理人】**  
**【識別番号】** 100108914  
**【弁理士】**  
**【氏名又は名称】** 鈴木 壯兵衛  
**【選任した代理人】**  
**【識別番号】** 100112704  
**【弁理士】**  
**【氏名又は名称】** 伊藤 由布子  
**【手数料の表示】**  
**【予納台帳番号】** 001982  
**【納付金額】** 21,000円  
**【提出物件の目録】**  
**【物件名】** 特許請求の範囲 1  
**【物件名】** 明細書 1  
**【物件名】** 図面 1  
**【物件名】** 要約書 1  
**【包括委任状番号】** 0013843

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

第 1 の基板の第 1 の主表面から前記第 1 の基板を選択的に除去して凸部を形成する第 1 のパターニング工程と、

前記第 1 の主表面を第 2 の基板の主表面に接合する基板接合工程と、

前記第 1 の主表面に対向する第 2 の主表面から前記第 1 の基板を一様に除去して、前記凸部のみを残す裏面エッチング工程

とを有することを特徴とする半導体構造の製造方法。

**【請求項 2】**

前記裏面エッチング工程は、途中まで前記第 2 の主表面を研磨し、その後、エッチング処理により前記第 1 の基板の前記凸部を除く他の部分を総て除去することを特徴とする請求項 1 記載の半導体構造の製造方法。

**【請求項 3】**

前記基板接合工程の前に、前記凸部のうち前記第 2 の基板に接合されない可動部分と重ね合わされる第 2 の基板の主表面に凹部を形成する第 2 のパターニング工程を更に有することを特徴とする請求項 1 または 2 記載の半導体構造の製造方法。

**【請求項 4】**

前記第 1 のパターニング工程において、前記凸部のうち前記第 2 の基板に接合されない可動部分の高さを、前記第 2 の基板に接合される固定部分よりも低くすることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の半導体構造の製造方法。

**【請求項 5】**

第 1 のパターニング工程は、

前記第 1 の主表面上の前記凸部が形成される領域に、前記第 1 の基板に対して一定のエッチング選択比を有するエッチングマスクを選択的に形成する段階と、

前記エッチングマスクが形成されていない領域の前記第 1 の基板を選択的に除去する段階とを有し、

前記可動部分が形成される領域の前記エッチングマスクの厚さは、前記固定部分が形成される領域の前記エッチングマスクの厚さよりも薄いことを特徴とする請求項 4 記載の半導体構造の製造方法。

**【請求項 6】**

前記基板接合工程の前に、前記凸部の側壁の粗さを取り除くスミージング工程を更に有することを特徴とする請求項 1 乃至 5 何れか 1 項記載の半導体構造の製造方法。

**【請求項 7】**

前記第 2 の基板の主表面上には絶縁膜が形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 何れか 1 項記載の半導体構造の製造方法。

**【請求項 8】**

前記第 2 の基板は絶縁基板であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 何れか 1 項記載の半導体構造の製造方法。

**【請求項 9】**

第 1 の電極と、前記第 1 の電極を駆動する第 2 の電極とを有する半導体アクチュエータであって、

第 1 の基板の第 1 の主表面から前記第 1 の基板を選択的に除去して、前記第 1 の電極及び前記第 2 の電極となる凸部を形成する第 1 のパターニング工程、

前記第 1 の主表面を第 2 の基板の主表面に接合する基板接合工程、及び

前記第 1 の主表面に対向する第 2 の主表面から前記第 1 の基板を一様に除去して、前記凸部のみを残す裏面エッチング工程

により製造されることを特徴とする半導体アクチュエータ。

**【請求項 10】**

可動プレートと、前記可動プレートと一体化された第 1 の電極と、前記第 1 の電極を駆動する第 2 の電極と、前記可動プレートに接続されたミラーと、前記ミラーの近傍におい

て交差又は対向する 1 対の光導波路とを有する光デバイスであって、  
第 1 の基板の第 1 の主表面から前記第 1 の基板を選択的に除去して、前記可動プレート  
、前記第 1 の電極、及び前記第 2 の電極となる凸部を形成する第 1 のパターンニング工程、  
前記第 1 の主表面を第 2 の基板の主表面に接合する基板接合工程、及び  
前記第 1 の主表面に対向する第 2 の主表面から前記第 1 の基板を一様に除去して、前記  
凸部のみを残す裏面エッチング工程  
により製造されることを特徴とする光デバイス。

## 【書類名】明細書

【発明の名称】半導体構造の製造方法、半導体アクチュエータ及び光デバイス

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は半導体構造の製造方法、半導体アクチュエータ及び光デバイスに関し、特に、微小電気機械システムによる半導体構造の製造方法及びこの半導体構造の製造方法により製造された半導体アクチュエータおよび光デバイスに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、微小電気機械システム (micro-electro-mechanical systems: MEMS) による静電マイクロアクチュエータを用いた光スイッチ或いは光シャッター等の光デバイスが実用化されている。

## 【0003】

図 21 に示すように、関連技術に係る光スイッチは、その一端が基板に固定された折り返しバネ (支持アーム) 146a~146d と、折り返しバネ 146a~146d の他端に接続された可動櫛歯電極及び可動櫛歯電極に対向して配置された固定櫛歯電極とからなる駆動部 142a~142d と、可動櫛歯電極に接続された可動プレート 141 と、可動プレート 141 の先端に接続されたミラー 149 と、ミラー 149 近傍で交差又は対向する光ファイバ 150a~150d とを有する。折り返しバネ 146a~146d、可動櫛歯電極、可動プレート 141、及びミラー 149 は、基板に対して自由に変位し得る可動部を構成する。なお、光ファイバ 150a~150d は、光ファイバー固定用溝にはめ込まれ、基板に固定されている。

## 【0004】

図 22 (a) に示すように、基板 163、中間酸化膜 162 及び活性層 161 からなるシリコン・オン・インシュレータ基板 (SOI 基板) 160 の活性層 161 上に酸化膜パターン 164 を形成する。図 22 (b) に示すように、酸化膜パターン 164 をマスクとして活性層 161 を選択的に垂直エッチングする。垂直エッチングは、中間酸化膜 162 が表出するまで行う。図 22 (c) に示すように、表出した中間酸化膜 162 をウェットエッチングにより除去する。この時、中間酸化膜 162 のサイドエッチングにより、活性層 161 の下の中間酸化膜 162 の一部も除去される。よって、パターン幅の狭い活性層 (可動部) 142b、149 は、基板 163 から分離される。図 22 (d) に示すように、光ファイバ 150d を、光ファイバー固定用溝にはめ込み、図 21 の光スイッチが完成する。

## 【0005】

また、少なくとも 1 つの固定電極あるいは可動電極の凹凸パターンを半導体基板の一方の主面に形成した後、当該半導体基板の凹凸パターンを形成した主面を他の基板に張り付け、前記半導体基板から前記凹凸パターンを分離する微小可動機械の製造方法が知られている (例えば、特許文献 1 参照)。

【特許文献 1】特許第 2682181 号公報 (第 4 頁左欄第 39 行目~45 行目)

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

図 22 (a) ~ 図 22 (d) に示した製造方法において、可動部を形成する際に、中間酸化膜 162 を等方的にエッチングする必要があり、その手段としては弗化水素酸溶液によるウェットエッチング法が最も一般的に用いられている。このようにウェットエッチングを用いる際には、エッチング終了後、水洗及び乾燥を必要とする。このプロセスにおいて、乾燥の際に生じる水の表面張力により、可動部のシリコン構造体が隣接する周辺部と固着する (ステイッキング) 可能性が高く、可動部の動作に障害を引き起こす。また、非常に薄い梁状の可動部などを有する構造体においては、ウェットプロセスで生じる水の流れにより構造体が破損してしまう可能性もある。

## 【0007】

また、図22(a)～図22(d)に示した製造方法では、構造体設計における自由度が制約される。即ち、可動部を基板163から切り離す方法(リリース方法)として中間酸化膜162のサイドエッチングを利用している為、エッチング時間で規定されるパターン幅よりも細い部分は必然的に基板163から切り離されてしまい、逆に大きい部分を切り離すことはできない。したがって、構造体のパターン幅又は線幅の設計自由度に大きな制約が生じる。

## 【0008】

更に、基板163と活性層161が中間酸化膜162を介して既に一体化したSOI基板を加工対象としているため、例えば表面層の一部のみ加工する、或いは熱処理を加えるなどといった加工は困難であり、加工自由度に大きな制約が生じていた。

## 【0009】

本発明はこのような関連技術の問題点を解決するために成されたものであり、その目的は、基板上に3次元形状を有する構造体、デバイスを形成する際において、固着などの動作不良の発生を抑制し、構造体設計、加工を行う上での構造設計、プロセス設計の自由度が高い半導体構造の製造方法、半導体アクチュエータ及び光デバイスを提供することである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0010】

本発明の第1の特徴は、第1の基板の第1の主表面から第1の基板を選択的に除去して凸部を形成する第1のパターニング工程と、第1の主表面を第2の基板の主表面に接合する基板接合工程と、第1の主表面に対向する第2の主表面から第1の基板を一様に除去して、凸部のみを残す裏面エッチング工程とを有する半導体構造の製造方法であることを要旨とする。

## 【0011】

本発明の第2の特徴は、第1の電極と、第1の電極を駆動する第2の電極とを有する半導体アクチュエータであって、第1の基板の第1の主表面から第1の基板を選択的に除去して、第1の電極及び第2の電極となる凸部を形成する第1のパターニング工程、第1の主表面を第2の基板の主表面に接合する基板接合工程、及び第1の主表面に対向する第2の主表面から第1の基板を一様に除去して凸部のみを残す裏面エッチング工程により製造される半導体アクチュエータであることを要旨とする。

## 【0012】

本発明の第3の特徴は、可動プレートと、可動プレートと一体化された第1の電極と、第1の電極を駆動する第2の電極と、可動プレートに接続されたミラーと、ミラーの近傍において交差又は対向する1対の光導波路とを有する光デバイスであって、第1の基板の第1の主表面から第1の基板を選択的に除去して、可動プレート、第1の電極、及び第2の電極となる凸部を形成する第1のパターニング工程、第1の主表面を第2の基板の主表面に接合する基板接合工程、及び第1の主表面に対向する第2の主表面から第1の基板を一様に除去して凸部のみを残す裏面エッチング工程により製造される光デバイスであることを要旨とする。

## 【発明の効果】

## 【0013】

本発明によれば、基板上に3次元形状を有する構造体、デバイスを形成する際において、固着などの動作不良の発生を抑制し、構造体設計、加工を行う上での構造設計、プロセス設計の自由度が高い半導体構造の製造方法、半導体アクチュエータ及び光デバイスを提供することができる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0014】

以下図面を参照して、本発明の実施の形態を説明する。図面の記載において同一あるいは類似の部分には同一あるいは類似な符号を付している。

## 【0015】

(第1の実施の形態)

図1に示すように、本発明の第1の実施の形態に係る3次元構造体は、第2の基板12と、第2の基板12の上に配置された第1の基板11とを有し、第1の基板11内にパターン幅の異なる複数の凸部13a、13b、13c、・・・が形成されている。総ての凸部13a、13b、13c、・・・は、第2の基板12の上に直接、接合されている。

## 【0016】

図2(a)乃至図2(c)を参照して、図1に示した3次元構造体の製造方法を説明する。

## 【0017】

(イ) 先ず図2(a)に示すように、単結晶シリコンからなる第1の基板11を用意し、熱酸化法或いは化学的気相成長 (Chemical vapor deposition: CVD) 法等を用いて第1の基板11の第1の主表面14上に一様に酸化膜を形成する。スパイン塗布法及びフォトリソグラフィ法を用いて、酸化膜の上にレジストパターンを形成し、レジストパターンをエッチングマスクとして、選択的に酸化膜を除去する。残された酸化膜パターン5は、図1の凸部13a、13b、13c、・・・が形成される領域に選択的に形成される。

## 【0018】

(ロ) 図2(b)に示すように、酸化膜パターン5をマスクとして、乾式反応性イオンエッチング (DRIE) 法などのドライエッチング方法を使って、第1の基板11の第1の主表面14から深さ100 $\mu$ m程度、第1の基板11を垂直方向に選択的に除去する。酸化膜パターン5の下第1の基板11は除去されずに凸部13a、13b、13c、・・・を形成する。以後、この工程を「第1のパターニング工程」と呼ぶ。なお、第1のパターニング工程では、側壁にポリマーの保護膜を形成する段階とエッチングする段階とを交互に繰り返す方法が一般的に用いられる。したがって、エッチングされた部分の断面、即ち凸部13a、13b、13c、・・・の側壁には、約0.2 $\mu$ m程度の凹凸25が形成される。また、エッチングの深さ (凸部13a、13b、13c、・・・の深さ) は、溝幅の広い部分の方が溝幅の狭い部分よりも深くなる。その後、酸化膜パターン5を弗化水素酸溶液で除去する。

## 【0019】

(ハ) 図2(c)に示すように、単結晶シリコンからなる第2の基板12を用意し、第1の基板11の第1の主表面14を第2の基板12の主表面16に接合する。具体的には、図2(c)に示す第1の基板11は、図2(b)に示した第1の基板11の第1及び第2の主表面14、15を入れ替えた状態を示す。第1の基板11の第1の主表面14を第2の基板12の主表面16と重ね合わせた状態で、第1の基板11と第2の基板12とを接合する。以後、この工程を「基板接合工程」と呼ぶ。なお、基板接合工程の前に、第2の基板12に対する加工処理は施されず、第2の基板12の主表面は平坦である。したがって、基板接合工程によって総ての凸部13a、13b、13c、・・・が第2の基板12に接合される。即ち、凸部13a、13b、13c、・・・の総ての上面が接合面となる。

。

## 【0020】

(ニ) 最後に、第1の主表面14に対向する第2の主表面15から第1の基板11を一様に除去する。具体的には、第1の基板11の第2の主表面15を、化学的機械的研磨 (Chemical Mechanical Polishing: CMP) 法などを用いて研磨する。研磨処理は、凸部13a、13b、13c、・・・に挟まれた溝が表出する、つまり、凸部13a、13b、13c、・・・のみが残される前に終了する。具体的には、溝の一番深い部分が露出せず、且つ機械的に構造破壊を起さない範囲で研磨は終了する。その後、DRIE法などのドライエッチング法を用いて、第1の基板11の第2の主表面15を除去する。エッチング処理は、総ての溝が露出し、凸部13a、13b、13c、・・・のみが残され、その他の部分が総て除去された時点で終了する。以後、この工程を「裏面エッチング工程」と呼ぶ。以上の工程を経て、図1に示した3次元構造体が完成する。



## 【0021】

このように、接合プロセス及びドライエッチングプロセスにより、3次元形状の溝を有する構造体を形成することができる。

## 【0022】

以上説明したように、第1の基板11を第2の基板12へ接合する前に、第1の基板11に対して加工を施しているため、加工の自由度も向上する。加工前から一体となっているSOI基板では実現できない形状であっても、加工後の基板を接合することにより、複雑な形状の3次元構造を実現可能である。

## 【0023】

また、裏面エッチング工程において、途中まで第2の主表面15を研磨し、その後、エッチング処理(DRIE処理)により第1の基板11の凸部13a、13b、13c、...を除く他の部分を総て除去することにより、DRIE処理の時間を短くすることができる。したがって、DRIEのエッチングバラツキに起因した加工形状のバラツキを抑制することができる。

## 【0024】

なお、上述したように、第1のパターニング工程において溝幅の広い部分は狭い部分よりも溝の深さが深くなるため、裏面エッチング工程において溝幅の広い部分は狭い部分よりも早い段階で露出することになり、第2の基板12の主表面16がエッチングされることになる。結果的に、溝幅の広い部分は、狭い部分に比して溝の深さが深く形成されることになる。

## 【0025】

(第2の実施の形態)

図3に示すように、本発明の第2の実施の形態に係る3次元構造体は、第2の基板12と、第2の基板12の上に配置された第1の基板11とを有し、第1の基板11内にパターン幅の異なる複数の凸部13a、13b、13c、13eが形成され、第2の基板12の主表面16に凹部18a、18bが形成されている。一部の凸部13a、13eは、第2の基板12の主表面16に直接、接合されている固定部を構成し、他の凸部13b、13cは、凹部18a、18bの上方に配置され、第2の基板12の主表面16に接合されていない可動部を構成する。

## 【0026】

図4(a)、図4(b)、図5(a)乃至図5(c)を参照して、図3に示した3次元構造体の製造方法を説明する。

## 【0027】

(イ) 先ず図4(a)に示すように、第1の基板11を用意し、第1の基板11の第1の主表面14上に一様に酸化膜を形成する。酸化膜の上にレジストパターンを形成し、レジストパターンをエッチングマスクとして、選択的に酸化膜を除去する。残された酸化膜パターン5は、図3の凸部13a、13b、13c、13eが形成される領域に選択的に形成される。

## 【0028】

(ロ) 図4(b)に示すように、第1のパターニング工程において、酸化膜パターン5をマスクとして、DRIE法などのドライエッチング方法を使って、第1の基板11の第1の主表面14から深さ100 $\mu$ m程度、第1の基板11を垂直方向に選択的に除去する。酸化膜パターン5の下第1の基板11は除去されずに凸部13a、13b、13c、13eが形成される。その後、酸化膜パターン5を弗化水素酸溶液で除去する。

## 【0029】

(ハ) 図5(a)に示すように、第2の基板12を用意し、第2の基板12の主表面16上に一様に酸化膜を形成する。酸化膜の上にレジストパターンを形成し、レジストパターンをエッチングマスクとして、選択的に酸化膜を除去する。残された酸化膜パターン19は、図3の凹部18a、18bが形成される領域に開口を有する。

## 【0030】

(ニ) 図5(b)に示すように、酸化膜パターン19をマスクとして、DRIE法などのドライエッチング方法を使って、第2の基板12の主表面16から深さ5~10 $\mu$ m程度、第2の基板12を垂直方向に選択的に除去する。酸化膜パターン19の開口部分に凹部18a、18bが形成される。以後、この工程を「第2のパターニング工程」と呼ぶ。その後、酸化膜パターン19を弗化水素酸溶液で除去する。

#### 【0031】

(ホ) 基板接合工程において、第1の基板11の第1の主表面14を第2の基板12の主表面16に接合する。具体的には、図5(c)に示す第1の基板11は、図4(b)に示した第1の基板11の第1及び第2の主表面14、15を入れ替えた状態を示す。第1及び第2の基板11、12の溝加工を施した面を接合面として重ね合わせた状態で、第1の基板11と第2の基板12とを接合する。この時、可動部を構成する凸部13b、13cが、凹部18a、18bの上方に配置されるように、第1の基板11及び第2の基板12の接合面はアライメントされる。また、可動部を構成する凸部13b、13cの総ての部分が、凹部18a、18bの上方に納まるように、アライメント精度を勘案して設計する必要がある。

#### 【0032】

(ヘ) 最後に、裏面エッチング工程において、第1の主表面14に対向する第2の主表面15から第1の基板11を一様に除去する。具体的には、第1の基板11の第2の主表面15を、CMP法などを用いて研磨する。研磨処理は、凸部13a、13b、13c、13eに挟まれた溝が表出する、つまり、凸部13a、13b、13c、13eのみが残される前に終了する。具体的には、溝の一番深い部分が露出せず、且つ機械的に構造破壊を起さない範囲で研磨は終了する。その後、DRIE法などのドライエッチング法を含む異方性のエッチング方法(サイドエッチングを伴わない垂直エッチング)を用いて、第1の基板11の第2の主表面15を除去する。エッチング処理は、総ての溝が露出し、凸部13a、13b、13c、13eのみが残され、その他の部分が総て除去された時点で終了する。以上の工程を経て、溝形状を有し、一部に可動部を含む図3に示した3次元構造体が完成する。

#### 【0033】

以上説明したように、可動部がリリースされる時点及びそれ以降の工程では、ウェットプロセスを用いない為、可動部形成時に問題となる固着の発生を抑制することができる。ひいては、デバイスの歩留り向上の効果が達成される。

#### 【0034】

固定部となる部分をそのパターン幅に係らず配置することができ、望みの場所を固定部とすることができる。例えば、図6の凸部13eは、可動部13b、13cに比して同等なパターン幅を有するにも係らず、第2の基板12との接合を形成し、固定部とすることができる。したがって、光スイッチのレイアウトの自由度が大幅に向上し、デバイスの小型化が達成できる。

#### 【0035】

また、2つの基板11、12を接合する前に、第1の基板11に対して加工しているため、加工の自由度も向上する。加工前から一体となっているSOI基板では実現できない形状であっても、1枚ずつの基板を加工し、加工後の基板を接合することにより、複雑な形状の3次元構造を実現可能である。

#### 【0036】

また、裏面エッチング工程において、途中まで第2の主表面15を研磨し、その後、エッチング処理(DRIE処理)により第1の基板11の凸部13a、13b、13c、13eを除く他の部分を総て除去することにより、DRIE処理の時間を短くすることができる。したがって、DRIEのエッチングバラツキに起因した加工形状のバラツキを抑制することができる。

#### 【0037】

(第3の実施の形態)

図6に示すように、本発明の第3の実施の形態に係る3次元構造体は、第2の基板12と、第2の基板12の上に配置された第1の基板11とを有し、第1の基板11内にパターン幅の異なる複数の凸部13a、13b、13c、13eが形成されている。一部の凸部13a、13eは、第2の基板12の主表面16に直接、接合されている固定部を構成し、他の凸部13b、13cは、第2の基板12の上方に配置され、第2の基板12の主表面16に接合されていない可動部を構成する。なお、図3の3次元構造体と異なり、第2の基板12の主表面16に凹部18a、18bは形成されていない。

#### 【0038】

図7(a)、図7(b)、図8(a)乃至図8(c)を参照して、図6に示した3次元構造体の製造方法を説明する。

#### 【0039】

(イ) 先ず図7(a)に示すように、第1の基板11を用意し、第1の基板11の第1の主表面14上に一様に酸化膜を形成する。ここでは、熱酸化法を用いて第1の主表面14に厚さ1 $\mu$ m程度の酸化膜を形成する。この酸化膜の上にレジストパターンを形成し、レジストパターンをエッチングマスクとして、選択的に酸化膜を除去する。残された酸化膜パターン20は、図6の可動部を構成する凸部13b、13cが形成される領域に開口を有する。

#### 【0040】

(ロ) 図7(b)に示すように、再び、第1の基板11の第1の主表面14上に一様に酸化膜を形成する。ここでは、熱酸化法を用いて第1の主表面14に厚さ0.5 $\mu$ m程度の酸化膜を形成する。したがって、図7(a)の酸化膜パターン20が形成されている領域には、比較的厚い酸化膜21aが形成され、図7(a)の酸化膜パターン20が形成されていない領域には、比較的薄い酸化膜21bが形成される。

#### 【0041】

(ハ) 酸化膜21a、21bの上にレジストパターンを形成し、レジストパターンをエッチングマスクとして、選択的に酸化膜21a、21bを除去する。図8(a)に示すように、残された酸化膜パターン22a、22b、22c、22eは、図6の凸部13a、13b、13c、13eが形成される領域に選択的に形成される。また、可動部を構成する凸部13b、13c上に形成された酸化膜パターン22b、22cの厚さは、固定部を構成する凸部13a、13e上に形成された酸化膜パターン22a、22eの厚さよりも薄い。

#### 【0042】

(ニ) 図8(b)に示すように、第1のパターニング工程において、酸化膜パターン22a、22b、22c、22eをマスクとして、DRIE法などのドライエッチング方法を使って、第1の基板11の第1の主表面14から深さ100 $\mu$ m程度、第1の基板11を垂直方向に選択的に除去する。酸化膜パターン22a、22b、22c、22e下の第1の基板11は除去されずに凸部13a、13b、13c、13eが形成される。また、第1のパターニング工程でエッチングマスクとして用いる酸化膜パターン22a、22b、22c、22eは、第1の基板11に対して一定のエッチング選択比を有する。即ち、第1の基板11のエッチング進行と共に、酸化膜パターン22a、22b、22c、22eも少しずつエッチングされる。図8(b)に示すように、第1のパターニング工程のエッチング終了後には、酸化膜パターン22a、22b、22c、22eのうち、固定部を構成する凸部13a、13e上の酸化膜パターン22a、22eのみが残り、可動部を構成する凸部13b、13c上の酸化膜パターン22b、22cは総て除去される。更に、酸化膜パターン22b、22cが総て除去された後のエッチング終了前の短時間、可動部を構成する凸部13b、13cの一部も除去されて、凸部13b、13cの高さは、凸部13a、13eよりも5~10 $\mu$ m程度低くなる。このように、エッチング時間及びエッチング選択比とを勘案して、固定部の酸化膜パターン22a、22e及び可動部の酸化膜パターン22b、22cの厚みをそれぞれ最適化する。その後、酸化膜パターン22a、22eを弗化水素酸溶液で除去する。

## 【0043】

(ホ) 基板接合工程において、第1の基板11の第1の主表面14を第2の基板12の主表面16に接合する。具体的には、図8(c)に示す第1の基板11は、図8(b)に示した第1の基板11の第1及び第2の主表面14、15を入れ替えた状態を示す。第1の基板11の溝加工を施した面を接合面として重ね合わせた状態で、第1の基板11と第2の基板12とを接合する。

## 【0044】

(ヘ) 最後に、裏面エッチング工程において、第1の主表面14に対向する第2の主表面15から第1の基板11を一様に除去する。具体的には、第1の基板11の第2の主表面15を、CMP法などを用いて研磨する。研磨処理は、凸部13a、13b、13c、13eに挟まれた溝が表出する、つまり、凸部13a、13b、13c、13eのみが残される前に終了する。具体的には、溝の一番深い部分が露出せず、且つ機械的に構造破壊を起さない範囲で研磨は終了する。その後、DRIE法などのドライエッチング法を用いて、第1の基板11の第2の主表面15を除去する。エッチング処理は、総ての溝が露出し、凸部13a、13b、13c、13eのみが残され、その他の部分が総て除去された時点で終了する。以上の工程を経て、一部に可動部を含む図6に示した3次元構造体が完成する。

## 【0045】

このように、図3に示した3次元構造体では、可動部を構成する凸部13b、13cが、第2の基板12の凹部18a、18bの上方に配置されるように、第1の基板11及び第2の基板12の接合面をアライメントする必要があるが、第3の実施の形態では、第2の基板12に対して溝加工を施さない為、第1及び第2の基板11、12間の接合アライメントの必要がない。また同様に、可動部を構成する凸部13b、13cの総ての部分が、凹部18a、18bの上方に納まるように、アライメント精度を勘案して設計する必要もない。

## 【0046】

また、第1のパターンニング工程におけるエッチング時間及びエッチング選択比とを勘案して、固定部の酸化膜パターン22a、22e及び可動部の酸化膜パターン22b、22cの厚みをそれぞれ最適化する。このことにより、凸部13a、13b、13c、13dの仕上がり高さを制御することができる。

## 【0047】

また、第2の実施の形態と同様な作用・効果が得られることは言うまでもない。

## 【0048】

(第4の実施の形態)

図9に示すように、本発明の第4の実施の形態に係る3次元構造体は、第2の基板12と、第2の基板12の上に配置された第1の基板11とを有し、第1の基板11内にパターン幅の異なる複数の凸部13a、13b、13c、13eが形成され、第2の基板12の主表面16に凹部18a、18bが形成されている。一部の凸部13a、13eは、第2の基板12の主表面16に直接、接合されている固定部を構成し、他の凸部13b、13cは、凹部18a、18bの上方に配置され、第2の基板12の主表面16に接合されていない可動部を構成する。このように、図9に示す3次元構造体は、図3に示した3次元構造体と同様な構成を有する。

## 【0049】

図10(a)乃至図10(d)、図11(a)乃至図11(c)を参照して、図9に示した3次元構造体の製造方法を説明する。

## 【0050】

(イ) 先ず図10(a)に示すように、第1の基板11を用意し、第1の基板11の第1の主表面14上に一様に酸化膜を形成する。酸化膜の上にレジストパターンを形成し、レジストパターンをエッチングマスクとして、選択的に酸化膜を除去する。残された酸化膜パターン5は、図9の凸部13a、13b、13c、13eが形成される領域に選択的

に形成される。

【0051】

(ロ) 図10 (b) に示すように、第1のパターニング工程において、酸化膜パターン5をマスクとして、DRIE法などのドライエッチング方法を使って、第1の基板11の第1の主表面14から深さ100 $\mu$ m程度、第1の基板11を垂直方向に選択的に除去する。酸化膜パターン5の下第1の基板11は除去されずに凸部13a、13b、13c、13eが形成される。なお、第1のパターニング工程では、側壁にポリマーの保護膜を形成する段階とエッチングする段階とを交互に繰り返す。したがって、エッチングされた部分の断面、即ち凸部13a、13b、13c、13eの側壁には、ピーク・バレイ値 (P・V値) で約0.2 $\mu$ m程度の凹凸25が形成される。

【0052】

(ハ) 図10 (c) に示すように、第1の基板11の第1の主表面14を熱酸化して、凸部13a、13b、13c、13eの側面及び底面に厚さ1.0 $\mu$ m以上の熱酸化膜23を形成する。その後、酸化膜パターン5及び熱酸化膜23を弗化水素酸溶液で除去する。図10 (d) に示すように、凹凸の小さい平坦な凸部13a、13b、13c、13eを形成することができる。例えば、厚さが1.2 $\mu$ mの熱酸化膜23を形成した場合、凹凸が40nm (rms) 程度の平坦な面が得られる。

【0053】

(ニ) 図11 (a) に示すように、第2の基板12を用意し、第2の基板12の主表面16上に一様に酸化膜を形成する。酸化膜の上にレジストパターンを形成し、レジストパターンをエッチングマスクとして、選択的に酸化膜を除去する。残された酸化膜パターン19は、図9の凹部18a、18bが形成される領域に開口を有する。

【0054】

(ホ) 図11 (b) に示すように、第2のパターニング工程において、酸化膜パターン19をマスクとして、乾式反応性イオンエッチング (DRIE) 法などのドライエッチング方法を使って、第2の基板12の主表面16から深さ5~10 $\mu$ m程度、第2の基板12を垂直方向に選択的に除去する。酸化膜パターン19の開口部分に凹部18a、18bが形成される。その後、酸化膜パターン19を弗化水素酸溶液で除去する。

【0055】

(ヘ) 基板接合工程において、第1の基板11の第1の主表面14を第2の基板12の主表面16に接合する。具体的には、図11 (c) に示す第1の基板11は、図10 (d) に示した第1の基板11の第1及び第2の主表面14、15を入れ替えた状態を示す。第1及び第2の基板11、12の溝加工を施した面を接合面として重ね合わせた状態で、第1の基板11と第2の基板12とを接合する。この時、可動部を構成する凸部13b、13cが、凹部18a、18bの上方に配置されるように、第1の基板11及び第2の基板12の接合面はアライメントされる。また、可動部を構成する凸部13b、13cの総ての部分が、凹部18a、18bの上方に納まるように、アライメント精度を勘案して設計する必要がある。

【0056】

(ト) 最後に、裏面エッチング工程において、第1の主表面14に対向する第2の主表面15から第1の基板11を一様に除去する。具体的には、第1の基板11の第2の主表面15を、CMP法などを用いて研磨する。研磨処理は、凸部13a、13b、13c、13eに挟まれた溝が表出する、つまり、凸部13a、13b、13c、13eのみが残される前に終了する。その後、DRIE法などのドライエッチング法を含む異方性のエッチング方法 (サイドエッチングを伴わない垂直エッチング) を用いて、第1の基板11の第2の主表面15を除去する。エッチング処理は、総ての溝が露出し、凸部13a、13b、13c、13eのみが残され、その他の部分が総て除去された時点で終了する。以上の工程を経て、溝形状を有し、一部に可動部を含む図9に示した3次元構造体が完成する。

【0057】

このように、第1のパターニング工程の後に、第1の基板11の第1の主表面14を熱酸化して熱酸化膜23を弗化水素酸溶液で除去することにより、凹凸の小さい平坦な凸部13a、13b、13c、13eを形成することができる。特に、光学素子等のデバイスを形成する場合にはその光学特性の向上に効果を発揮する。

【0058】

また、第2の実施の形態と同様な作用・効果が得られることは言うまでもない。

【0059】

(第5の実施の形態)

図12に示すように、本発明の第5の実施の形態に係る3次元構造体は、第2の基板12と、第2の基板12の上に配置された第1の基板11とを有し、第2の基板12の主表面16には一様に酸化膜24が形成され、第1の基板11は酸化膜24を介して第2の基板12に接合されている。第1の基板11内にはパターン幅の異なる複数の凸部13a、13b、13c、13eが形成され、第2の基板12の主表面16には凹部18a、18bが形成されている。酸化膜24は、凹部18a、18bの側面及び底面にも配置されている。一部の凸部13a、13eは、第2の基板12の酸化膜24に直接、接合されている固定部を構成し、他の凸部13b、13cは、凹部18a、18bの上方に配置され、第2の基板12の酸化膜24に接合されていない可動部を構成する。

【0060】

図13(a)、図13(b)、図14(a)乃至図14(d)を参照して、図12に示した3次元構造体の製造方法を説明する。

【0061】

(イ) 先ず図13(a)に示すように、第1の基板11を用意し、第1の基板11の第1の主表面14上に一様に酸化膜を形成する。酸化膜の上にレジストパターンを形成し、レジストパターンをエッチングマスクとして、選択的に酸化膜を除去する。残された酸化膜パターン5は、図12の凸部13a、13b、13c、13eが形成される領域に選択的に形成される。

【0062】

(ロ) 図13(b)に示すように、第1のパターニング工程において、酸化膜パターン5をマスクとして、DRIE法などのドライエッチング方法を使って、第1の基板11の第1の主表面14から深さ100 $\mu$ m程度、第1の基板11を垂直方向に選択的に除去する。酸化膜パターン5の下第1の基板11は除去されずに凸部13a、13b、13c、13eが形成される。その後、酸化膜パターン5を弗化水素酸溶液で除去する。

【0063】

(ハ) 図14(a)に示すように、第2の基板12を用意し、第2の基板12の主表面16上に一様に酸化膜を形成する。酸化膜の上にレジストパターンを形成し、レジストパターンをエッチングマスクとして、選択的に酸化膜を除去する。残された酸化膜パターン19は、図12の凹部18a、18bが形成される領域に開口を有する。

【0064】

(ニ) 図14(b)に示すように、第2のパターニング工程において、酸化膜パターン19をマスクとして、乾式反応性イオンエッチング(DRIE)法などのドライエッチング方法を使って、第2の基板12の主表面16から深さ5~10 $\mu$ m程度、第2の基板12を垂直方向に選択的に除去する。酸化膜パターン19の開口部分に凹部18a、18bが形成される。その後、酸化膜パターン19を弗化水素酸溶液で除去する。

【0065】

(ホ) 図14(c)に示すように、再び、第2の基板12の主表面16上に一様に酸化膜24を形成する。ここでは、第2の基板12の主表面16を熱酸化して酸化膜24を形成する。

【0066】

(ヘ) 基板接合工程において、第1の基板11の第1の主表面14を第2の基板12の主表面16に接合する。具体的には、図14(d)に示す第1の基板11は、図13(b)

に示した第1の基板11の第1及び第2の主表面14、15を入れ替えた状態を示す。第1及び第2の基板11、12の溝加工を施した面を接合面として重ね合わせた状態で、第1の基板11と第2の基板12とを接合する。この時、可動部を構成する凸部13b、13cが、凹部18a、18bの上方に配置されるように、第1の基板11及び第2の基板12の接合面はアライメントされる。また、可動部を構成する凸部13b、13cの総ての部分が、凹部18a、18bの上方に納まるように、アライメント精度を勘案して設計する必要がある。

#### 【0067】

(ト)最後に、裏面エッチング工程において、第1の主表面14に対向する第2の主表面15から第1の基板11を一様に除去する。具体的には、第1の基板11の第2の主表面15を、CMP法などを用いて研磨する。研磨処理は、凸部13a、13b、13c、13eに挟まれた溝が表出する、つまり、凸部13a、13b、13c、13eのみが残される前に終了する。その後、DRIE法などのドライエッチング法を用いて、第1の基板11の第2の主表面15を除去する。エッチング処理は、総ての溝が露出し、凸部13a、13b、13c、13eのみが残され、その他の部分が総て除去された時点で終了する。以上の工程を経て、溝形状を有し、一部に可動部を含む図12に示した3次元構造体が完成する。

#### 【0068】

このように、第1の基板11と第2の基板12との接合面には酸化膜24が介在し、第1の基板11と第2の基板12とを電氣的に絶縁することができる。

#### 【0069】

また、第1のパターニング工程において溝幅の広い部分は狭い部分よりも溝の深さが深くなるため、裏面エッチング工程において溝幅の広い部分は狭い部分よりも早い段階で露出することになり、第2の基板12の主表面16がエッチングされることになる。しかし、第2の基板12の主表面16には酸化膜24が形成されているため、第2の基板12の主表面16がエッチングされることはない。したがって、溝幅の大小によって第1の基板11の貫通するまでの時間に差が生じたとしても、酸化膜24がエッチングストッパーとして機能するため、第2の基板12の主表面がエッチングされることはない。即ち、結果的に、溝幅の広い部分が、狭い部分に比して溝の深さが深く形成されることはなく、オーバーエッチングによる3次元構造体の構造がダメージを受ける心配はない。

#### 【0070】

また、第2の実施の形態と同様な作用・効果が得られることは言うまでもない。

#### 【0071】

(第6の実施の形態)

図15(a)に示すように、本発明の第6の実施の形態に係るアクチュエータは、可撓性の支持部材(板バネ)36と、支持部材36で懸吊された可動プレート31と、可動プレート31の両側に一体に連結された可動電極32a、32bと、可動電極32aに対向して配置された固定電極33aと、可動電極32bに対向して配置された固定電極33bと、支持部材36に接続されたパッド35a、35bと、固定電極33a、33bにそれぞれ接続されたパッド34a、34bとを有する。支持部材36の一端及び固定電極33a、33bは、アンカー部により基板に固定されている。可動プレート31、支持部材36、及び可動電極32a、32bが可動部を構成し、支持部材36の一端と固定電極33a、33bが固定部を構成する。パッド34a、34b、35a、35bは、例えば、アルミニウム合金からなる金属パッドである。

#### 【0072】

図15(b)に示すように、図15(a)のアクチュエータは、第2の基板12と、第2の基板12の上に配置された第1の基板11とを有し、第1の基板11内にはパターン幅の異なる複数の凸部からなるアクチュエータの各構成要素が形成されている。第2の基板12の主表面には一様に厚さ1、2 $\mu$ m程度の酸化膜37が形成され、第1の基板11は酸化膜37を介して第2の基板12に接合されている。複数の凸部のうち固定部を構成

する固定電極 33a 等は、第 2 の基板 12 の酸化膜 37 に直接、接合されている。一方、可動部を構成する可動電極 32a、支持部材 36、可動プレート 31 は、酸化膜 37 の上方に配置され、酸化膜 37 に接合されていない。

【0073】

図 15 (a) 及び図 15 (b) に示したアクチュエータの動作を説明する。パッド 35a、35b、支持部材 36、及び可動プレート 31 を介して可動電極 32a、32b に接地電位 (GND) を印加し、左右の固定電極 33a、33b に所定の電圧 (例えば、10V 程度) を交互に荷電することで、可動部を左右に動かす。例えば、左の固定電極 33b に荷電すれば、支持部材 36 が撓み可動部は左側へ引き寄せられ、支持部材 36 のバネ反力と静電気の引力が釣り合う位置まで移動する。左の固定電極 33b を除電すると、静電気の引力が無くなり、可動部は支持部材 36 のバネ反力により中央位置に戻る。右方向の移動も同様に行われる。

【0074】

図 16 (a) 乃至図 16 (c)、図 7 (a)、図 7 (b) を参照して、図 15 (a) 及び図 15 (b) に示したアクチュエータの製造方法を説明する。

【0075】

(イ) 先ず図 7 (a) に示した製造工程と同様にして、第 1 の基板 11 の第 1 の主表面 14 に厚さ  $1\mu\text{m}$  程度の酸化膜を形成し、この酸化膜の上にレジストパターンを形成し、レジストパターンをエッチングマスクとして、選択的に酸化膜を除去する。残された酸化膜パターン 20 は、図 15 (a) の可動部が形成される領域に開口を有する。

【0076】

(ロ) 図 7 (b) に示したように、再び、熱酸化法を用いて第 1 の主表面 14 に厚さ  $0.5\mu\text{m}$  程度の酸化膜を形成する。したがって、図 7 (a) の酸化膜パターン 20 が形成されている領域には、比較的厚い酸化膜 21a が形成され、図 7 (a) の酸化膜パターン 20 が形成されていない領域には、比較的薄い酸化膜 21b が形成される。

【0077】

(ハ) 酸化膜 21a、21b の上にレジストパターンを形成し、レジストパターンをエッチングマスクとして、選択的に酸化膜 21a、21b を除去する。以上の製造工程と同様にして、図 16 (a) に示すように、酸化膜パターン 38a、38b が、図 15 (b) の各構成要素が形成される領域に選択的に形成される。なお、可動部の上に形成された酸化膜パターン 38b の厚さ (例えば、約  $0.5\mu\text{m}$ ) は、固定部の上に形成された酸化膜パターン 38a の厚さ (例えば、約  $1.2\mu\text{m}$ ) よりも薄い。

【0078】

(ニ) 図 16 (b) に示すように、第 1 のパターニング工程において、酸化膜パターン 38a、38b をマスクとして、DRIE 法などのドライエッチング方法を使って、第 1 の基板 11 の第 1 の主表面 14 から深さ  $100\mu\text{m}$  程度、第 1 の基板 11 を垂直方向に選択的に除去する。酸化膜パターン 38a、38b の下の第 1 の基板 11 は除去されずにアクチュエータの構成要素となる凸部 (32a、33a、36、35a、31、35b) が形成される。また、第 1 のパターニング工程におけるエッチングマスクとして用いる酸化膜パターン 38a、38b は、第 1 の基板 11 に対して一定のエッチング選択比を有する。即ち、第 1 の基板 11 のエッチングの進行と共に、酸化膜パターン 38a、38b も少しずつエッチングされる。図 16 (b) に示すように、第 1 のパターニング工程のエッチング終了後には、固定部の上の酸化膜パターン 38a のみが残し、可動部の上の酸化膜パターン 38b は総て除去される。更に、エッチング終了前の短時間、可動部を構成する凸部 (32a、36、31) の一部も除去されて、可動部を構成する凸部 (32a、36、31) の高さは、固定部を構成する凸部 (33a、35a、35b) よりも  $5\sim 10\mu\text{m}$  程度低くなる。このように、エッチング時間及びエッチング選択比とを勘案して、固定部の酸化膜パターン 38a 及び可動部の酸化膜パターン 38b の厚みをそれぞれ最適化する。その後、酸化膜パターン 38a を弗化水素酸溶液で除去する。

【0079】



(ホ) 基板接合工程において、第1の基板11の第1の主表面14を第2の基板12の主表面16に接合する。具体的には、図16(c)に示す第1の基板11は、図16(b)に示した第1の基板11の第1及び第2の主表面14、15を入れ替えた状態を示す。第1の基板11の溝加工を施した面と第2の基板12の酸化膜37が形成された主表面16とを接合面として重ね合わせた状態で、第1の基板11と第2の基板12とを接合する。

#### 【0080】

(ヘ) 裏面エッチング工程において、第1の主表面14に対向する第2の主表面15から第1の基板11を一様に除去する。具体的には、第1の基板11の第2の主表面15を、CMP法などを用いて研磨する。研磨処理は、凸部に挟まれた溝が表出する、つまり、凸部のみが残される前に終了する。具体的には、溝の一番深い部分が露出せず、且つ機械的に構造破壊を起さない範囲で研磨は終了する。その後、DRIE法などのドライエッチング法を用いて、第1の基板11の第2の主表面15を除去する。エッチング処理は、総ての溝が露出し、凸部のみが残され、その他の部分が総て除去された時点で終了する。最後に、メタルマスクを用いてアルミニウム合金をパッド35a、34aとして選択的にアンカー部に1.0 $\mu$ m程度堆積する。以上の工程を経て、一部に可動部を含む図15(a)及び図15(b)に示したアクチュエータが完成する。

#### 【0081】

以上説明したように、可動部がリリースされる時点及びそれ以降の工程では、ウェットプロセスを用いない為、可動部形成時に問題となる固着の発生を抑制することができる。ひいては、デバイスの歩留り向上の効果が達成される。

#### 【0082】

固定部となる部分をそのパターン幅に係らず配置することができ、望みの場所を固定部とすることができる。例えば、図15(b)の固定電極33aは、可動電極32aに比して同等なパターン幅を有するにも係らず、第2の基板12との接合を形成し、固定部とすることができる。したがって、アクチュエータのレイアウトの自由度が大幅に向上し、デバイスの小型化が達成できる。

#### 【0083】

また、2つの基板11、12を接合する前に、第1の基板11に対して加工しているため、加工の自由度も向上する。加工前から一体となっているSOI基板では実現できない形状であっても、1枚ずつの基板を加工し、加工後の基板を接合することにより、複雑な形状の3次元構造を実現可能である。

#### 【0084】

また、裏面エッチング工程において、途中まで第2の主表面15を研磨し、その後、エッチング処理(DRIE処理)により第1の基板11の凸部を除く他の部分を総て除去することにより、DRIE処理の時間を短くすることができる。したがって、DRIEのエッチングバラツキに起因した加工形状のバラツキを抑制することができる。

#### 【0085】

また、第2の基板12に対して溝加工を施さない為、第1及び第2の基板11、12間の接合アライメントの必要がない。

#### 【0086】

また、第1のパターニング工程におけるエッチング時間及びエッチング選択比とを勘案して、固定部の酸化膜パターン38a及び可動部の酸化膜パターン38bの厚みをそれぞれ最適化する。このことにより、凸部の仕上がり高さを制御することができる。

#### 【0087】

また、第1の基板11と第2の基板12との接合面には酸化膜37が介在し、第1の基板11と第2の基板12とを電氣的に絶縁することができる。

#### 【0088】

また、第1のパターニング工程において溝幅の広い部分は狭い部分よりも溝の深さが深くなるため、裏面エッチング工程において溝幅の広い部分は狭い部分よりも早い段階で露

出することになり、第2の基板12の主表面16がエッチングされることになる。しかし、第2の基板12の主表面16には酸化膜37が形成されているため、第2の基板12の主表面16がエッチングされることはない。したがって、溝幅の大小によって第1の基板11の貫通するまでの時間に差が生じたとしても、酸化膜37がエッチングストッパーとして機能するため、第2の基板12の主表面がエッチングされることはない。即ち、結果的に、溝幅の広い部分が、狭い部分に比して溝の深さが深く形成されることはない。

#### 【0089】

(第7の実施の形態)

図17に示すように、本発明の第7の実施の形態に係る光スイッチは、可撓性の支持部材(板バネ)46と、支持部材46で懸吊された可動プレート41と、可動プレート41の一端に連結された第1の電極(可動電極)42と、可動電極42に対向して配置された第2の電極(固定電極)43と、支持部材46に接続されたパッド45a、45bと、固定電極43にそれぞれ接続されたパッド44と、可動プレート41の他端に接続されたミラー49と、ミラー49の近傍で交差する4つの光導波路(光ファイバ)50a~50dとを有する。支持部材46の一端及び固定電極43は、アンカー部により基板に固定されている。可動プレート41、支持部材46、可動電極42、及びミラー49が可動部を構成し、支持部材46の一端、固定電極43及び光ファイバ50a~50dを固定する為の溝が固定部を構成する。パッド44、45a、45bは、例えば、厚さ0.04 $\mu$ mのクロムと厚さ0.4 $\mu$ mの金の合金からなる。光ファイバ50a~50dの先端には、それぞれレンズが配置されている。

#### 【0090】

図18に示すように、図17の光スイッチは、第2の基板12と、第2の基板12の上に配置された第1の基板11とを有し、第1の基板11内にはパターン幅の異なる複数の凸部からなる光スイッチの各構成要素が形成されている。第2の基板12の主表面には一様に厚さ1.2 $\mu$ m程度の酸化膜47が形成され、第1の基板11は酸化膜47を介して第2の基板12に接合されている。複数の凸部のうち固定部を構成する固定電極43及び支持部材46のアンカー部は、第2の基板12の酸化膜47に直接、接合されている。一方、可動部を構成する可動電極42及び支持部材46及び固定電極43の櫛歯部分は、酸化膜47の上方に配置され、酸化膜47に接合されていない。固定電極43及び支持部材46のアンカー部の上には、それぞれパッド44、45aが配置されている。また、ミラー49の側面には、厚さ0.04 $\mu$ mのクロムと厚さ0.4 $\mu$ mの金の合金膜が被覆されている。更に、光ファイバ50aは、光ファイバを固定する為の凹部に嵌め込まれている。

#### 【0091】

図17及び図18に示した光スイッチの動作を説明する。パッド45a、45b、支持部材46、及び可動プレート41を介して可動電極42に接地電位(GND)を印加し、固定電極43に所定の電圧(例えば、30V程度)を荷電することで、可動部は固定電極43側(右側)へ引き寄せられ、支持部材46のバネ反力と静電気の引力が釣り合う位置まで移動する。固定電極43を除電すると、静電気の引力が無くなり、可動部は支持部材46のバネ反力により元の位置に戻る。可動部が固定電極43側に引き寄せられた状態では、光ファイバ50a~50dから出力される光は、ミラー49に反射されずに、対向する光ファイバへ直進する。可動部が元の状態では、光ファイバ50a~50dから出力される光は、ミラー49に反射される。例えば、光ファイバ50aから出力された光は、ミラー49に反射されて光ファイバ50bへ進み、光ファイバ50dから出力された光は、ミラー49に反射されて光ファイバ50cへ進む。

#### 【0092】

図19(a)乃至図19(c)、図20(a)、図20(b)、図7(a)、及び図7(b)を参照して、図17及び図18に示した光スイッチの製造方法を説明する。

#### 【0093】

(イ) 先ず図7(a)に示した製造工程と同様にして、第1の基板11の第1の主表面

14に厚さ $1\mu\text{m}$ 程度の酸化膜を形成し、この酸化膜の上にレジストパターンを形成し、レジストパターンをエッチングマスクとして、選択的に酸化膜を除去する。残された酸化膜パターン20は、図17の可動部が形成される領域に開口を有する。

【0094】

(ロ) 図7(b)に示したように、再び、熱酸化法を用いて第1の主表面14に厚さ $0.5\mu\text{m}$ 程度の酸化膜を形成する。したがって、図7(a)の酸化膜パターン20が形成されている領域には、比較的厚い酸化膜21aが形成され、図7(a)の酸化膜パターン20が形成されていない領域には、比較的薄い酸化膜21bが形成される。

【0095】

(ハ) 酸化膜21a、21bの上にレジストパターンを形成し、レジストパターンをエッチングマスクとして、選択的に酸化膜21a、21bを除去する。以上の製造工程と同様にして、図19(a)に示すように、酸化膜パターン48a、48bが、図18の各構成要素が形成される領域に選択的に形成される。なお、可動部の上に形成された酸化膜パターン48bの厚さ(例えば、約 $0.5\mu\text{m}$ )は、固定部の上に形成された酸化膜パターン48aの厚さ(例えば、約 $1.2\mu\text{m}$ )よりも薄い。

【0096】

(ニ) 図19(b)に示すように、第1のパターニング工程において、酸化膜パターン48a、48bをマスクとして、DRIE法などのドライエッチング方法を使って、第1の基板11の第1の主表面14から深さ $100\mu\text{m}$ 程度、第1の基板11を垂直方向に選択的に除去する。酸化膜パターン48a、48bの下第1の基板11は除去されずにアクチュエータの構成要素となる凸部(42、43、46、49)が形成される。また、第1のパターニング工程におけるエッチングマスクとして用いる酸化膜パターン48a、48bは、第1の基板11に対して一定のエッチング選択比を有する。即ち、第1の基板11のエッチングの進行と共に、酸化膜パターン48a、48bも少しずつエッチングされる。第1のパターニング工程のエッチング終了後には、固定部の上の酸化膜パターン48aのみが残り、可動部の上の酸化膜パターン48bは総て除去される。更に、エッチング終了前の短時間、可動部を構成する凸部(42、43、46、49)の一部も除去されて、可動部を構成する凸部(42、43、46、49)の高さは、固定部を構成する凸部よりも $5\sim 10\mu\text{m}$ 程度低くなる。その後、酸化膜パターンを弗化水素酸溶液で除去する。なお、第1のパターニング工程では、側壁にポリマーの保護膜を形成する段階とエッチングする段階とを交互に繰り返す。したがって、エッチングされた部分の断面には、約 $0.2\mu\text{m}$ 程度の凹凸が形成される。

【0097】

(ホ) 第1の基板11の第1の主表面14を熱酸化して、凸部(42、43、46、49、51)の側面及び底面に厚さ $1.0\mu\text{m}$ 以上の熱酸化膜を形成する。その後、熱酸化膜を弗化水素酸溶液で除去する。図19(c)に示すように、凹凸の小さい平坦な凸部(42、43、46、49、51)を形成することができる。例えば、厚さが $1.2\mu\text{m}$ の熱酸化膜を形成した場合、凹凸が $50\text{nm}(\text{rms})$ 以上の表面粗度が得られる。この平坦化処理は、ミラー49の反射面が光学的特性を達成する上で必要な処理である。

【0098】

(ヘ) 基板接合工程において、第1の基板11の第1の主表面14を第2の基板12の主表面16に接合する。具体的には、図20(a)に示す第1の基板11は、図19(c)に示した第1の基板11の第1及び第2の主表面14、15を入れ替えた状態を示す。第1の基板11の溝加工を施した面と第2の基板12の酸化膜47が形成された主表面16とを接合面として重ね合わせた状態で、第1の基板11と第2の基板12とを接合する。

。

【0099】

(ト) 裏面エッチング工程において、第1の主表面14に対向する第2の主表面15から第1の基板11を一様に除去する。具体的には、第1の基板11の第2の主表面15を、CMP法などを用いて研磨する。図20(b)に示すように、研磨処理は、凸部に挟ま

れた溝が表出する、つまり、凸部のみが残される前に終了する。具体的には、溝の一番深い部分が露出せず、且つ機械的に構造破壊を起さない範囲で研磨は終了する。その後、DRIE法などのドライエッチング法を含む異方性のエッチング方法を用いて、第1の基板11の第2の主表面15を除去する。エッチング処理は、総ての溝が露出し、凸部のみが残され、その他の部分が総て除去された時点で終了する。

#### 【0100】

(チ)最後に、メタルマスクを用いてクロムを $0.04\mu\text{m}$ 程度、金を $0.4\mu\text{m}$ 程度、それぞれ固定電極43及び支持部材46のアンカー部、及びミラー49の側面に選択的にスパッターする。そして、光ファイバ50a～50dを光ファイバ用溝に嵌め込む。以上の工程を経て、一部に可動部を含む図17及び図18に示した光スイッチが完成する。

#### 【0101】

以上説明したように、可動部がリリースされる時点及びそれ以降の工程では、ウェットプロセスを用いない為、可動部形成時に問題となる固着の発生を抑制することができる。ひいては、デバイスの歩留り向上の効果が達成される。

#### 【0102】

固定部となる部分をそのパターン幅に係らず配置することができ、望みの場所を固定部とすることができる。例えば、図17の光ファイバ50aを固定する為の枠51は、可動電極42等の他の可動部に比して同等なパターン幅を有するにも係らず、第2の基板12との接合を形成し、固定部とすることができる。即ち、接着剤を用いて光ファイバ50a～50dを溝部に固定する際、アクチュエータ部と溝部の分離幅51を狭くすることができる。枠51の底が第2の基板12に接続されており、接着剤のアクチュエータ部への染み出しがないからである。したがって、光スイッチのレイアウトの自由度が大幅に向上し、デバイスの小型化が達成できる。

#### 【0103】

また、2つの基板11、12を別々に加工するため、加工の自由度も向上する。加工前から一体となっているSOI基板では実現できない形状であっても、1枚ずつの基板を加工し、加工後の基板を接合することにより、複雑な形状の3次元構造を実現可能である。

#### 【0104】

また、ミラー49への平坦化処理によりミラー49の光学的特性も維持向上される。

#### 【0105】

また、第6の実施の形態と同様な作用・効果が得られることは言うまでもない。

#### 【0106】

(その他の実施の形態)

上記のように、本発明は、第1乃至第7の実施の形態によって記載したが、この開示の一部をなす論述及び図面はこの発明を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者には様々な代替実施の形態、実施例及び運用技術が明らかとなろう。

#### 【0107】

上述した第1乃至第7の実施の形態において、第2の基板12として、サファイア基板、ガラス基板、又は石英基板など絶縁基板を用いても良い。例えば、高耐熱ガラスを材料として用いた場合、基板接合工程において陽極接合を実施することにより、比較的低温(約400度程度)で且つ接合強度の高い第1の基板と第2の基板の接合が可能となる。なお、この場合においても、シリコンからなる第1の基板11の加工は、基板接合工程の前に実施する為、シリコンに対する高温の熱処理(熱酸化など)も実施することができ、上述したプロセス自由度が損なわれることは無い。また、例えば図3に示したような凹部18a、18bを形成するには、サンドブラスト加工を施せばよい。

#### 【0108】

このように、本発明はここでは記載していない様々な実施の形態等を包含するということを理解すべきである。したがって、本発明はこの開示から妥当な特許請求の範囲に係る発明特定事項によってのみ限定されるものである。

【図面の簡単な説明】

## 【0109】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る3次元構造体を示す断面図である。

【図2】図2(a)乃至図2(c)は、図1に示した3次元構造体の主要な製造工程を示す断面図である。

【図3】本発明の第2の実施の形態に係る3次元構造体を示す断面図である。

【図4】図4(a)、図4(b)は、図3に示した3次元構造体の主要な製造工程を示す断面図である(その1)。

【図5】図5(a)乃至図5(c)は、図3に示した3次元構造体の主要な製造工程を示す断面図である(その2)。

【図6】本発明の第3の実施の形態に係る3次元構造体を示す断面図である。

【図7】図7(a)、図7(b)は、図6に示した3次元構造体の主要な製造工程を示す断面図である(その1)。

【図8】図8(a)乃至図8(c)は、図6に示した3次元構造体の主要な製造工程を示す断面図である(その2)。

【図9】本発明の第4の実施の形態に係る3次元構造体を示す断面図である。

【図10】図10(a)乃至図10(d)は、図9に示した3次元構造体の主要な製造工程を示す断面図である(その1)。

【図11】図11(a)乃至図11(c)は、図9に示した3次元構造体の主要な製造工程を示す断面図である(その2)。

【図12】本発明の第5の実施の形態に係る3次元構造体を示す断面図である。

【図13】図13(a)、図13(b)は、図12に示した3次元構造体の主要な製造工程を示す断面図である(その1)。

【図14】図14(a)乃至図14(d)は、図12に示した3次元構造体の主要な製造工程を示す断面図である(その2)。

【図15】図15(a)は、本発明の第6の実施の形態に係るアクチュエータを示す平面図である。図15(b)は、図15(a)のA-A'切断面に沿った断面図である。

【図16】図16(a)乃至図16(c)は、図15(a)及び図15(b)に示したアクチュエータの主要な製造工程を示す断面図である。

【図17】本発明の第7の実施の形態に係る光スイッチを示す平面図である。

【図18】図17のB-B'切断面に沿った断面図である。

【図19】図19(a)乃至図19(c)は、図17及び図18に示した光スイッチの主要な製造工程を示す断面図である(その1)。

【図20】図20(a)及び図20(b)は、図17及び図18に示した光スイッチの主要な製造工程を示す断面図である(その2)。

【図21】関連技術に係る製造方法により製造された光スイッチを示す平面図である。

【図22】図22(a)乃至図22(d)は、図21に示した光スイッチの主要な製造工程を示す断面図である。

## 【符号の説明】

## 【0110】

5、19、20、21a、21b、22a、22b、22c、22e 酸化膜パターン

11 第1の基板

12 第2の基板

13a、13b、13c、13e 凸部

14 第1の主表面

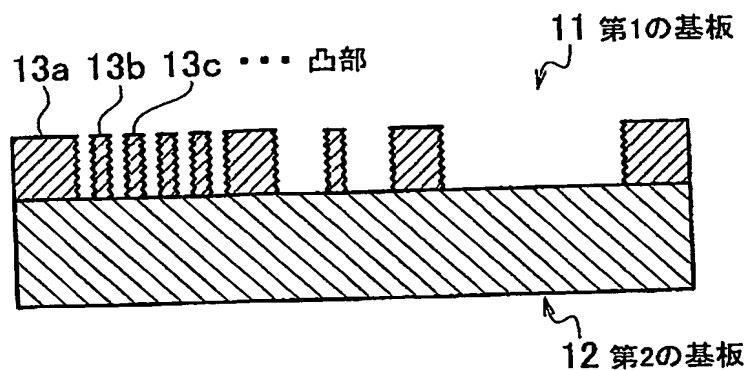
15 第2の主表面

16 主表面

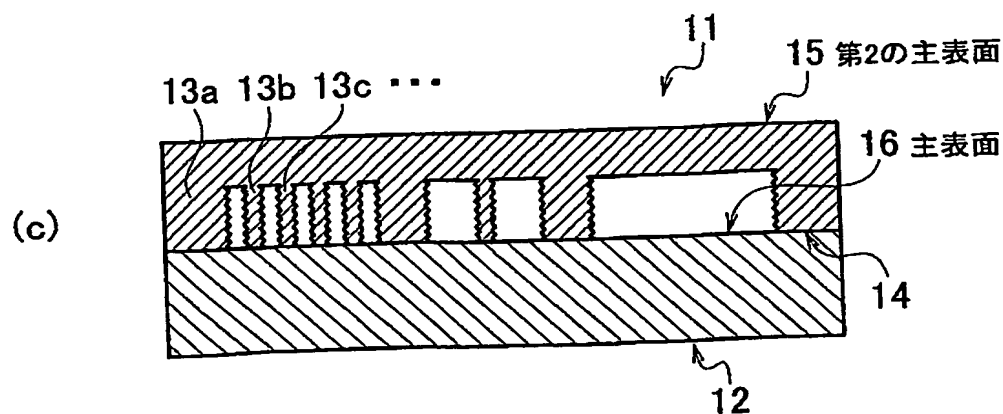
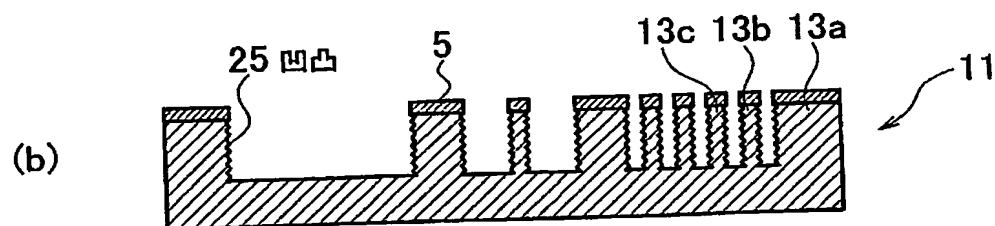
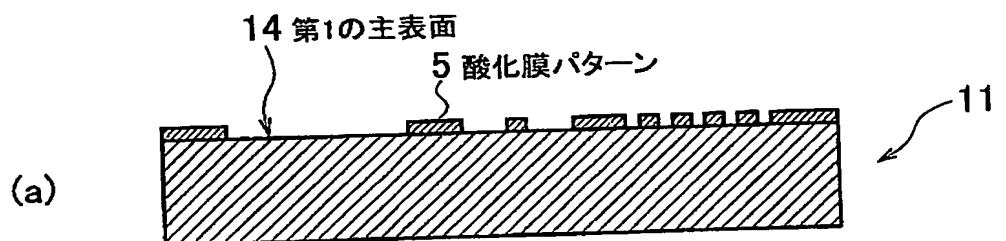
18a、18b 凹部

23 熱酸化膜  
 24、37、47 酸化膜  
 25 凹凸  
 31、41 可動プレート  
 32a、32b、42 可動電極  
 33a、33b、43 固定電極  
 34a、34b、35a、35b、44、45a、45b パッド  
 36、46 支持部材  
 49 ミラー  
 50a~50d 光導波路 (光ファイバ)

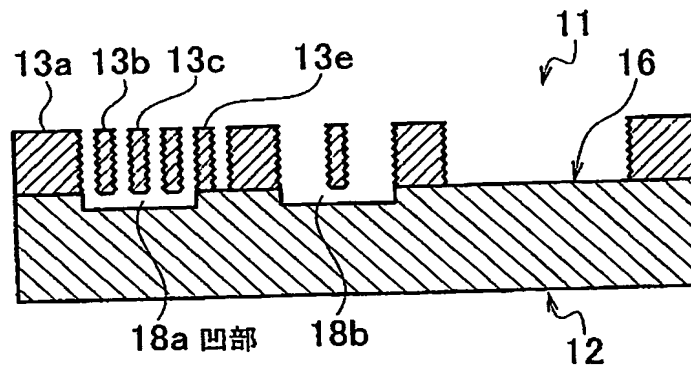
【書類名】 図面  
【図 1】



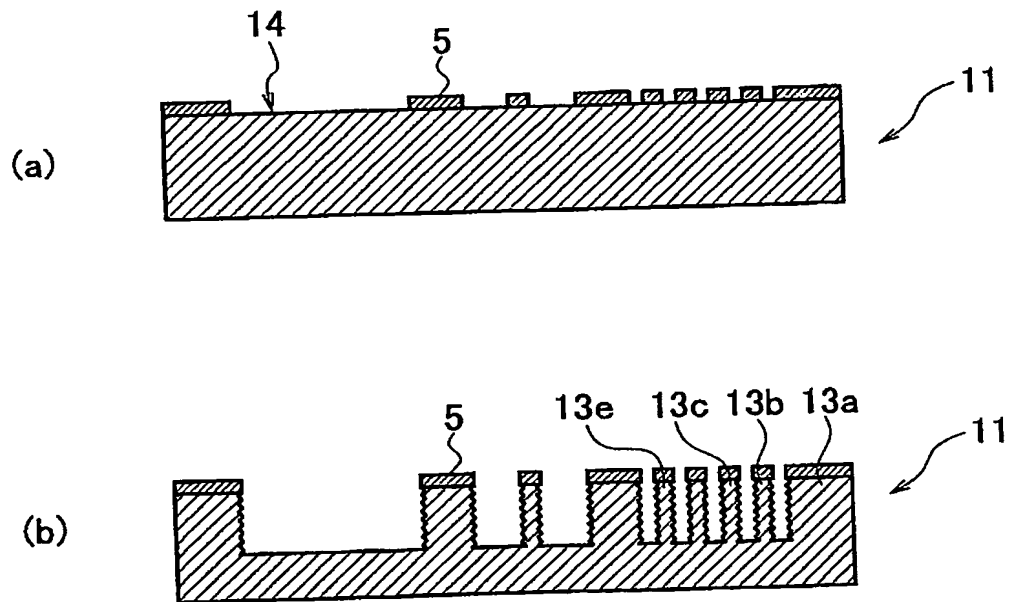
【図 2】



【図 3】

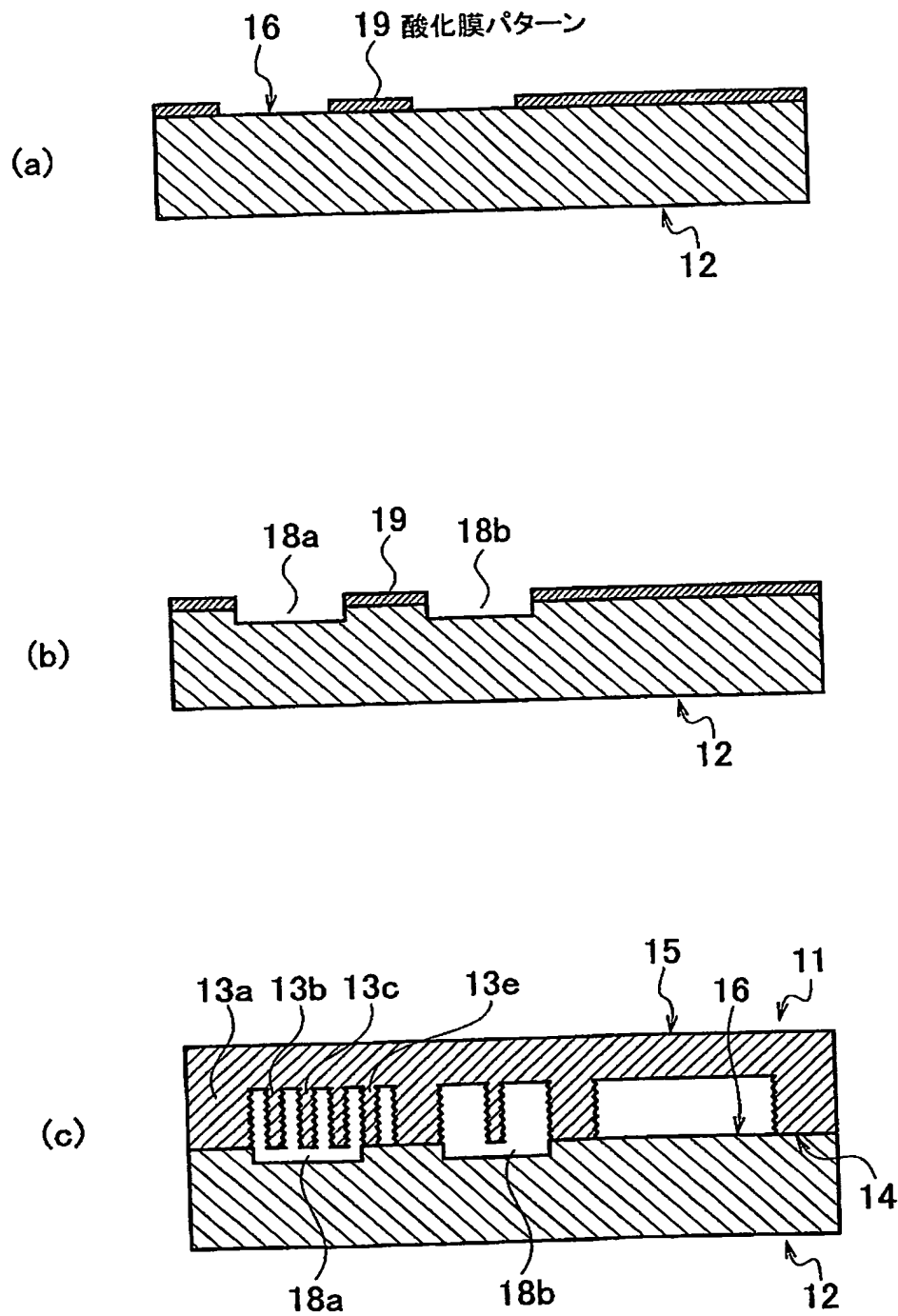


【図 4】

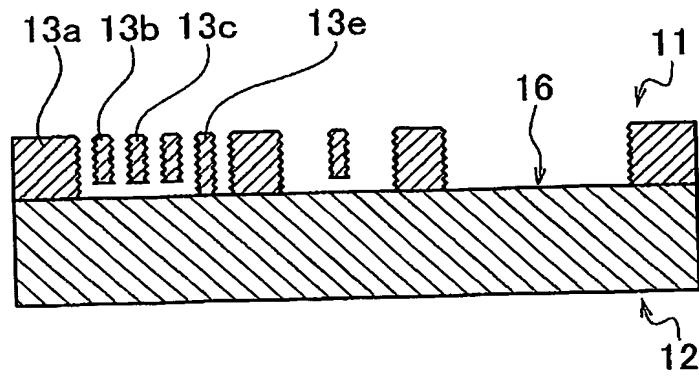




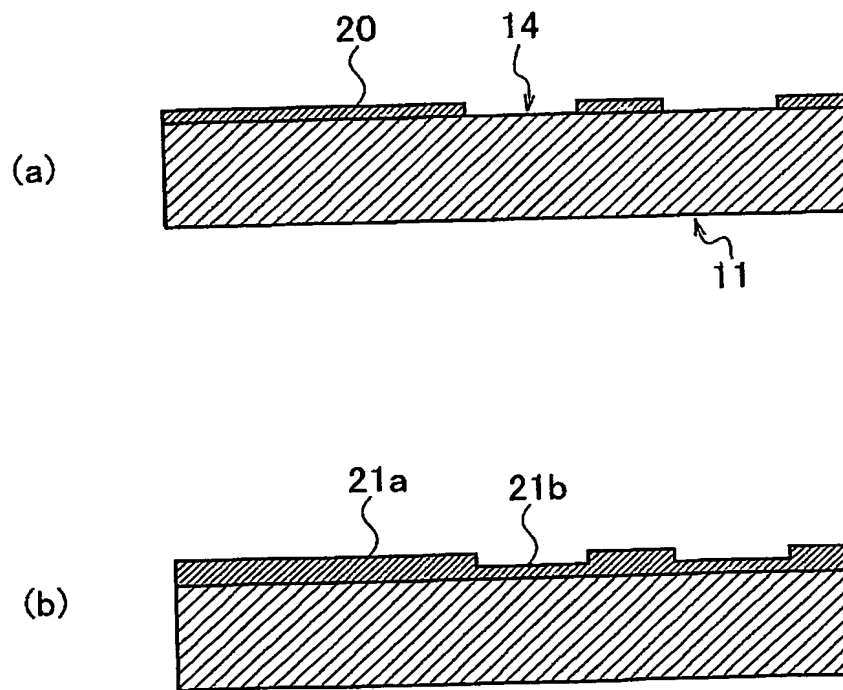
【図 5】



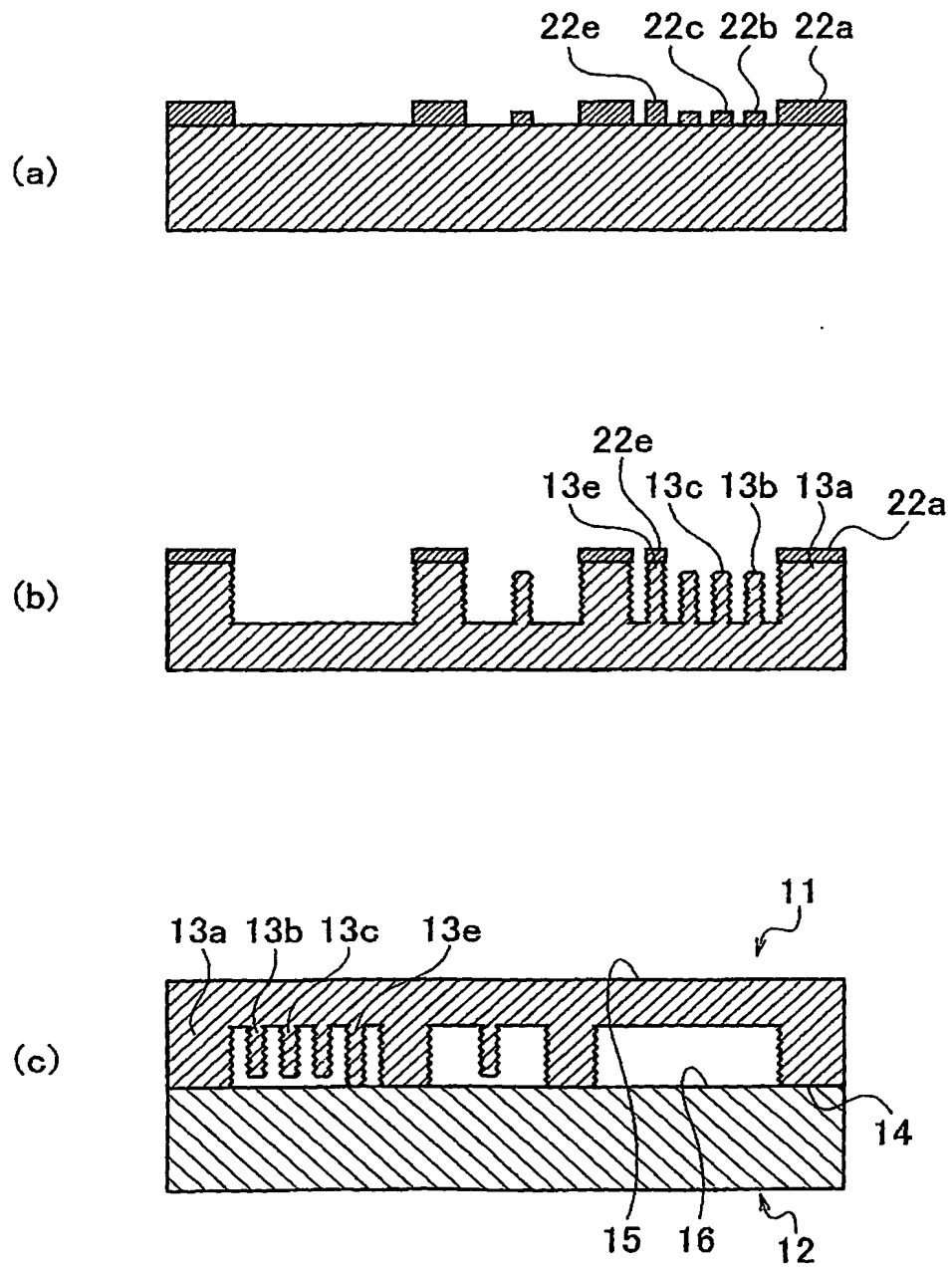
【図 6】



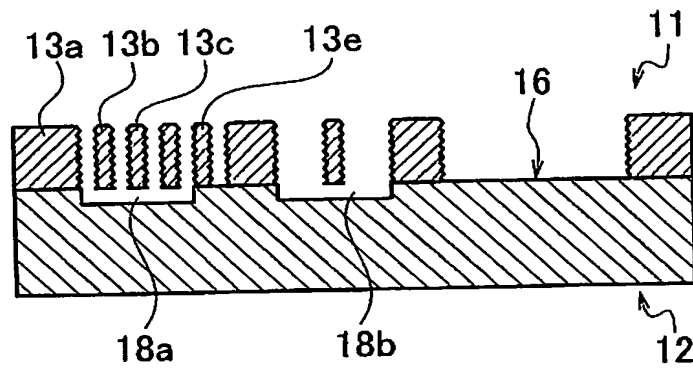
【図 7】



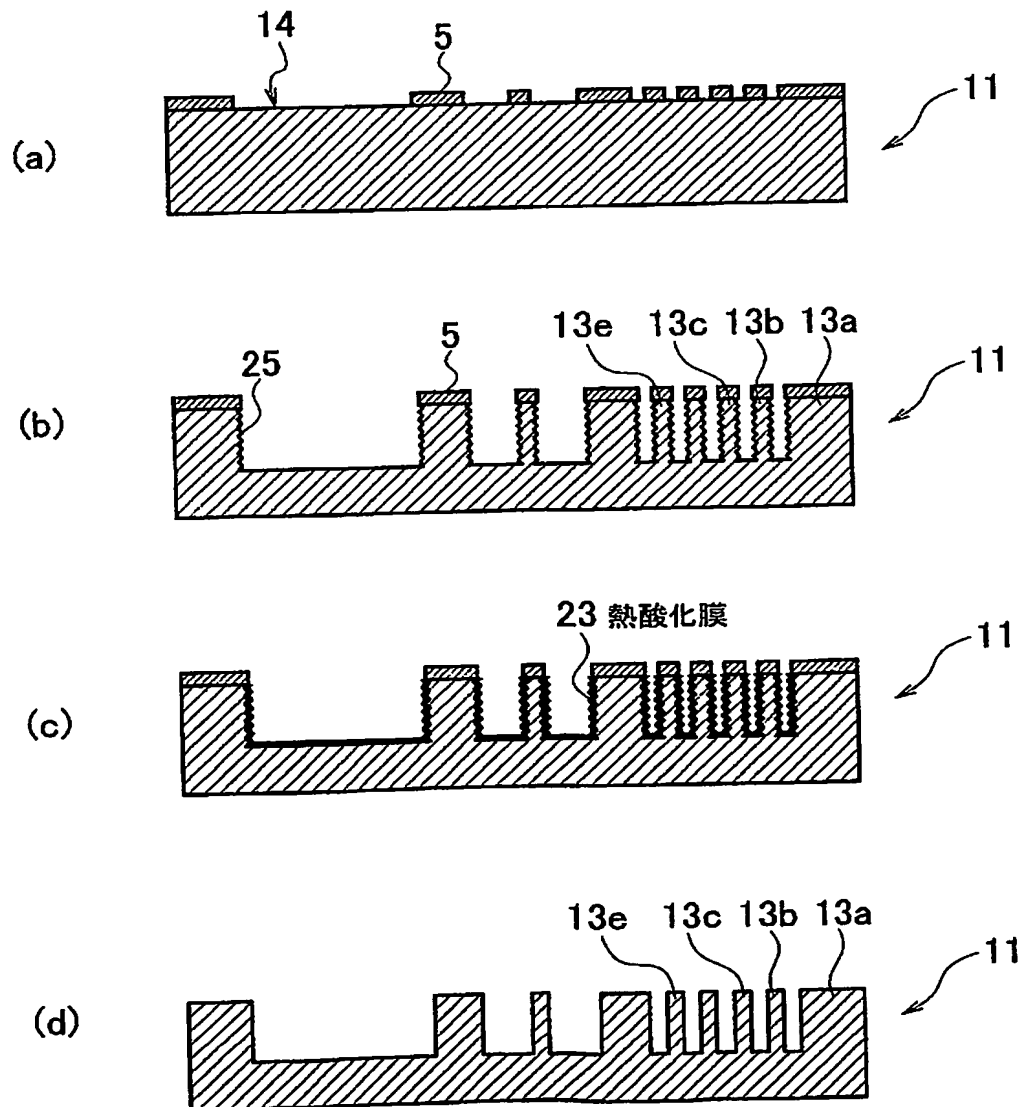
【図 8】



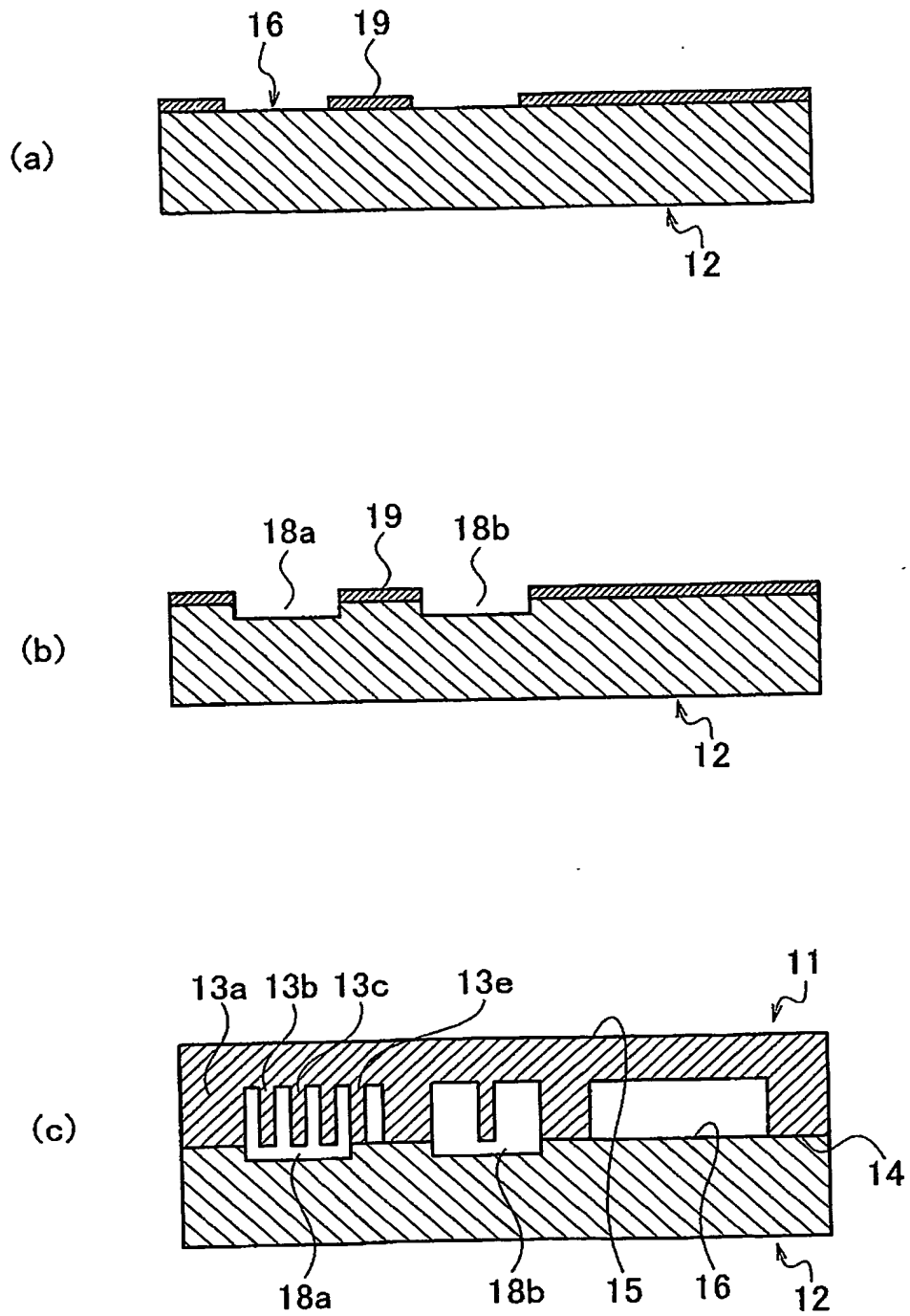
【図 9】



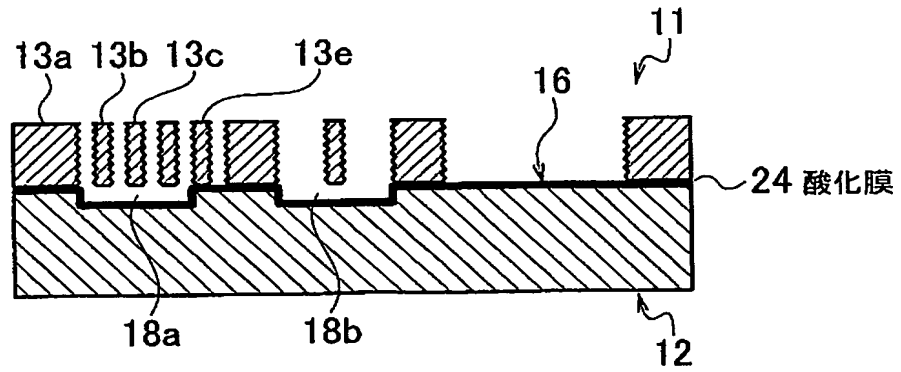
【図 10】



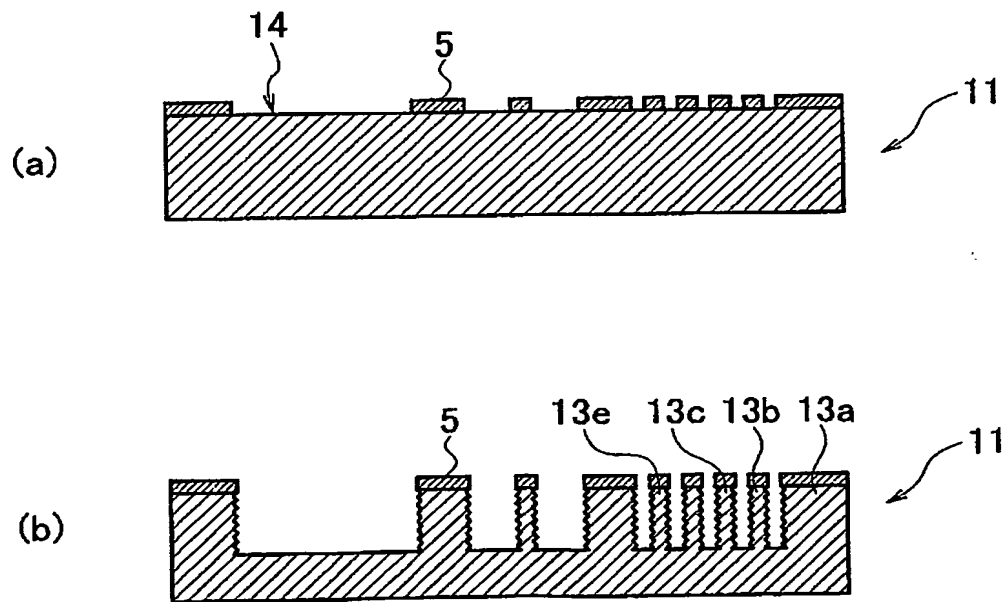
【図 11】



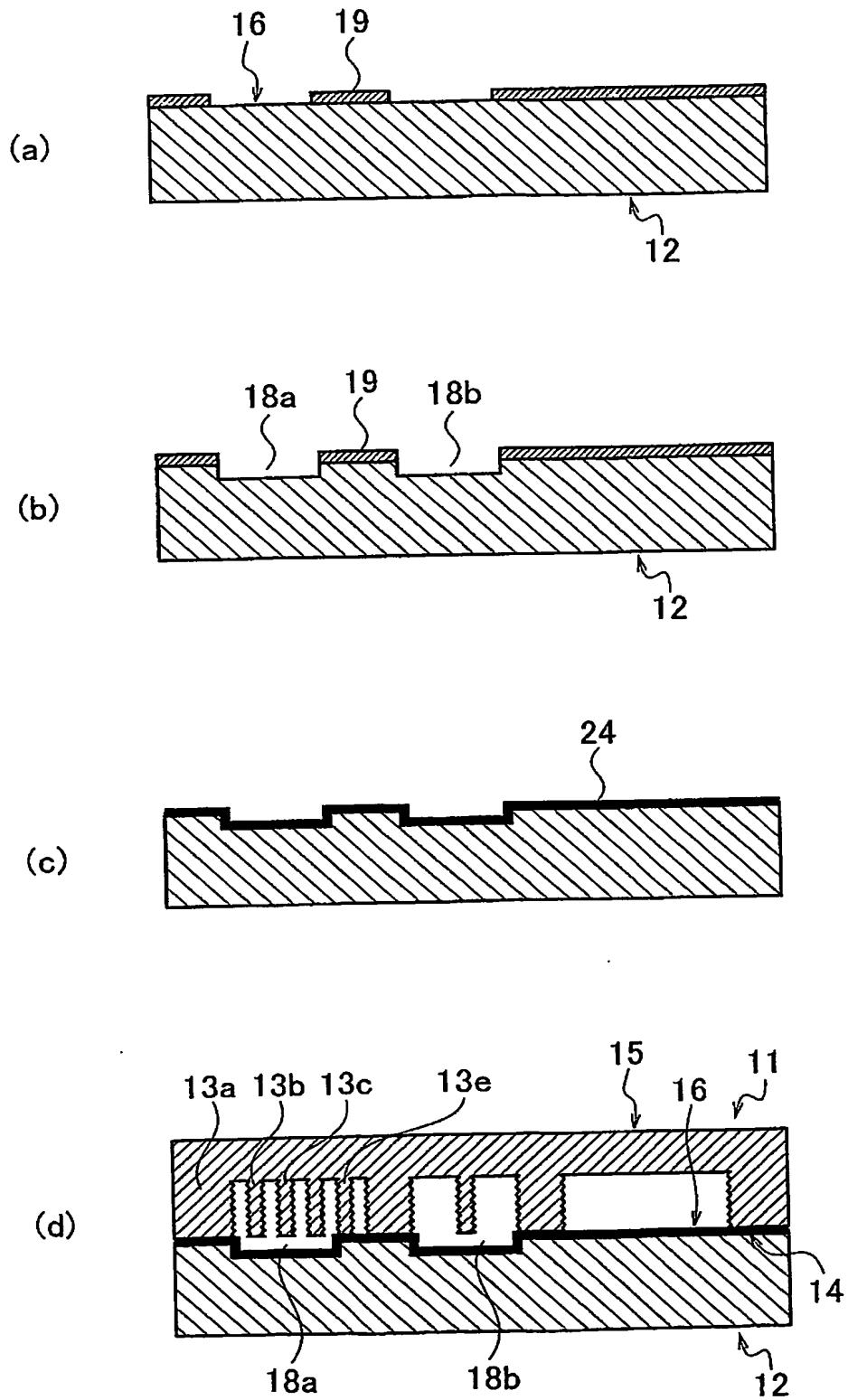
【図 12】



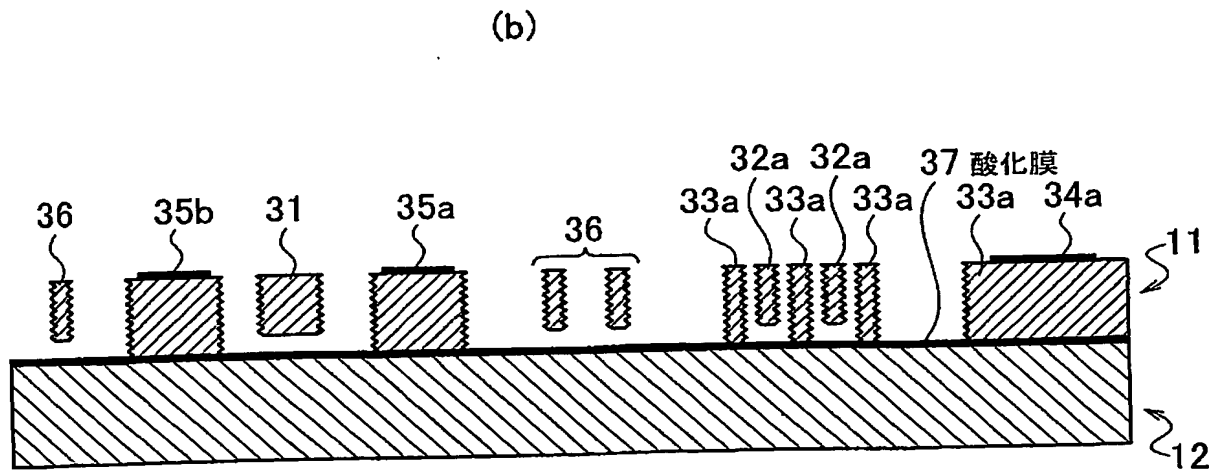
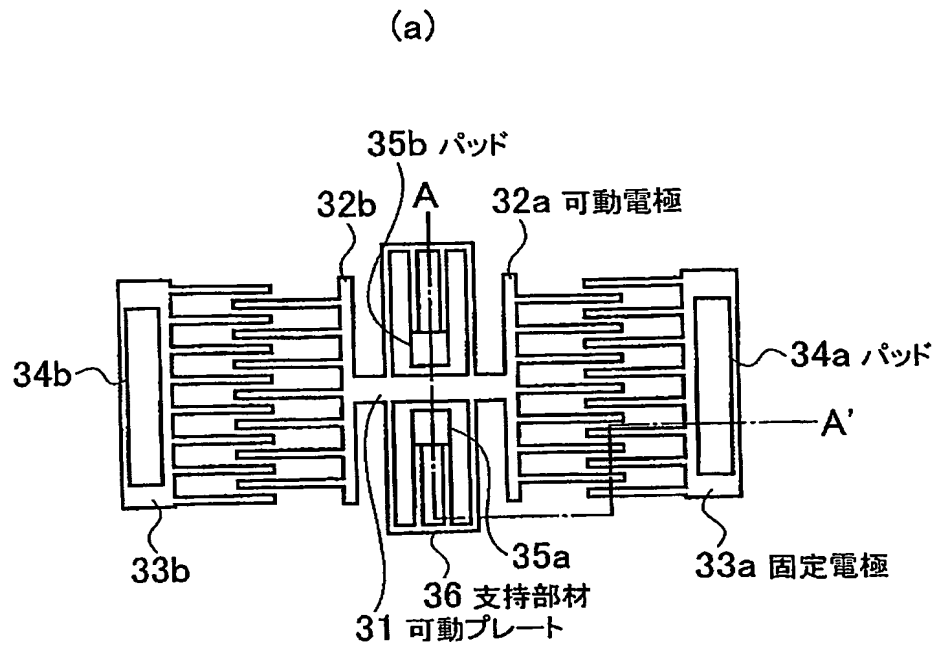
【図 13】



【図 14】

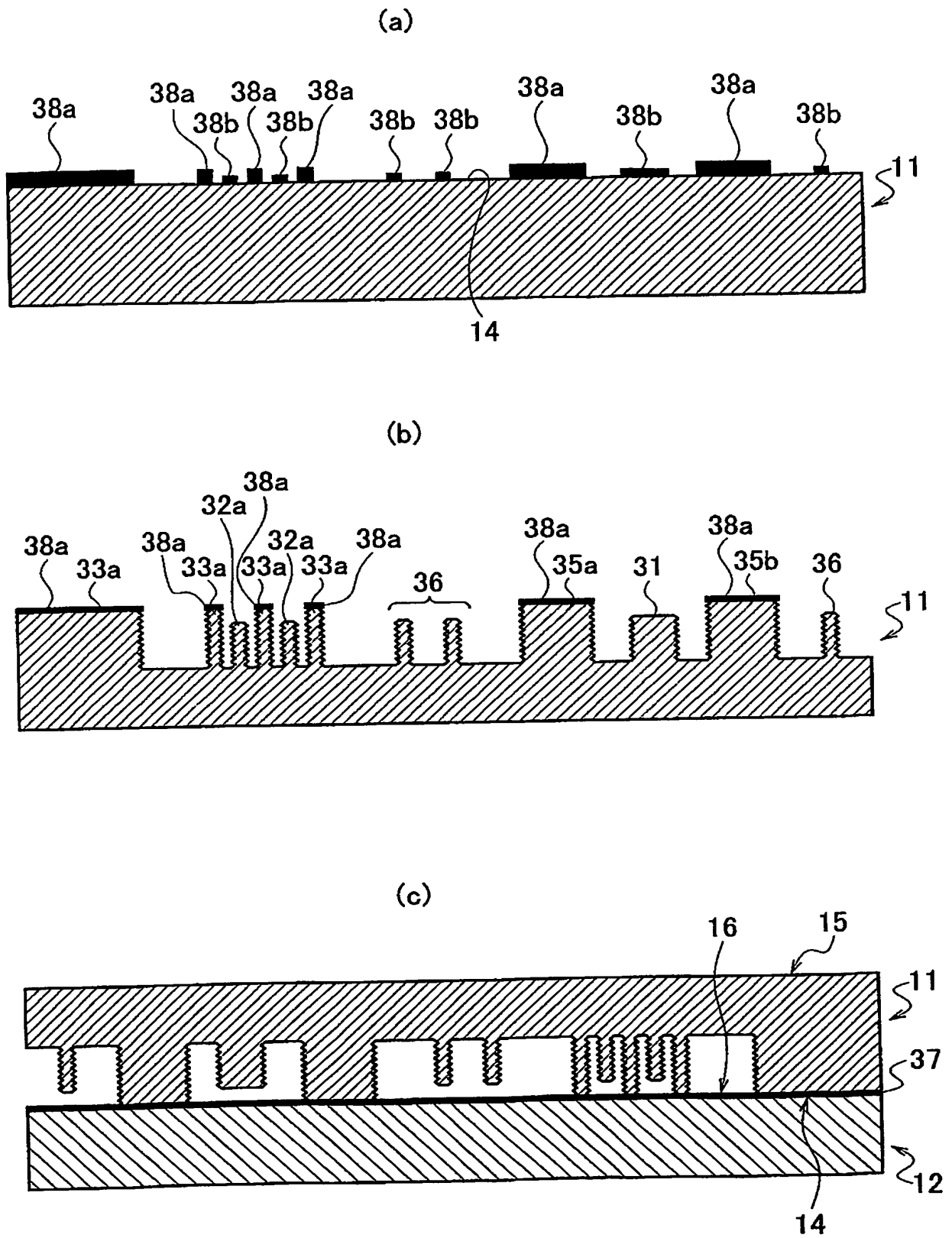


【図 15】

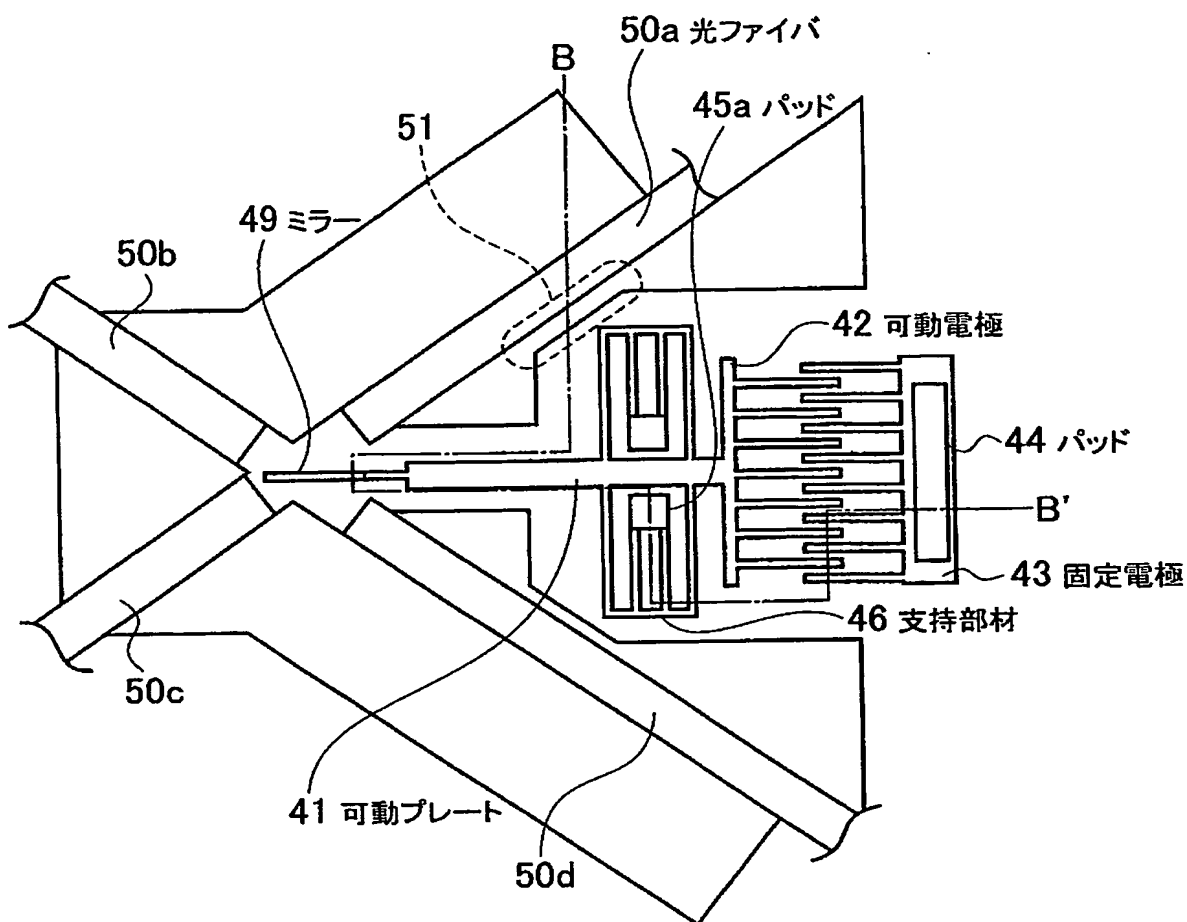




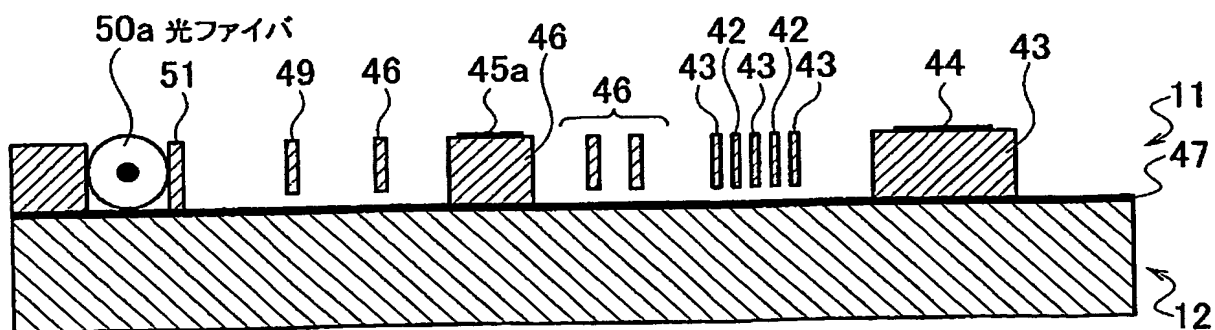
【図 16】



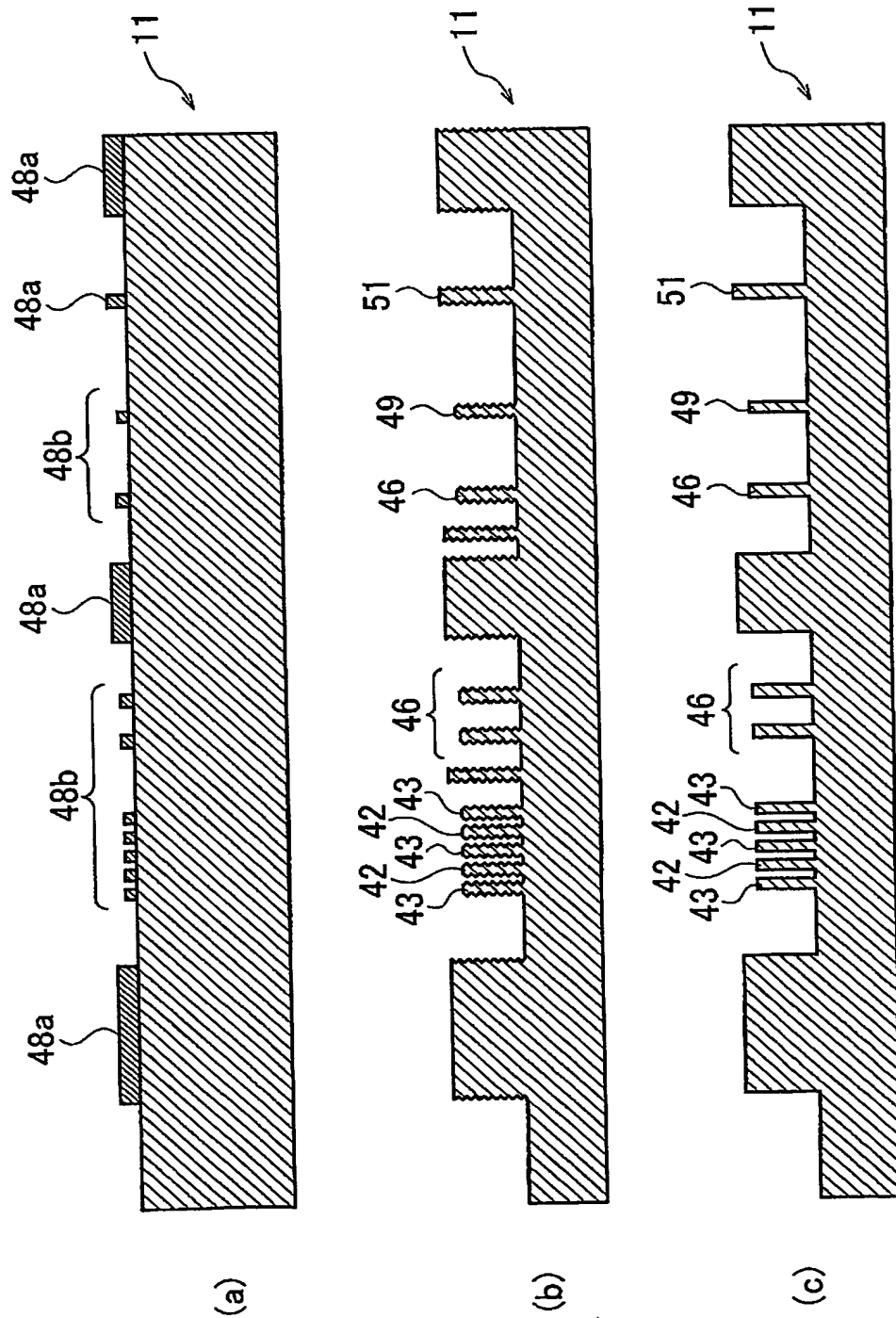
【図 17】



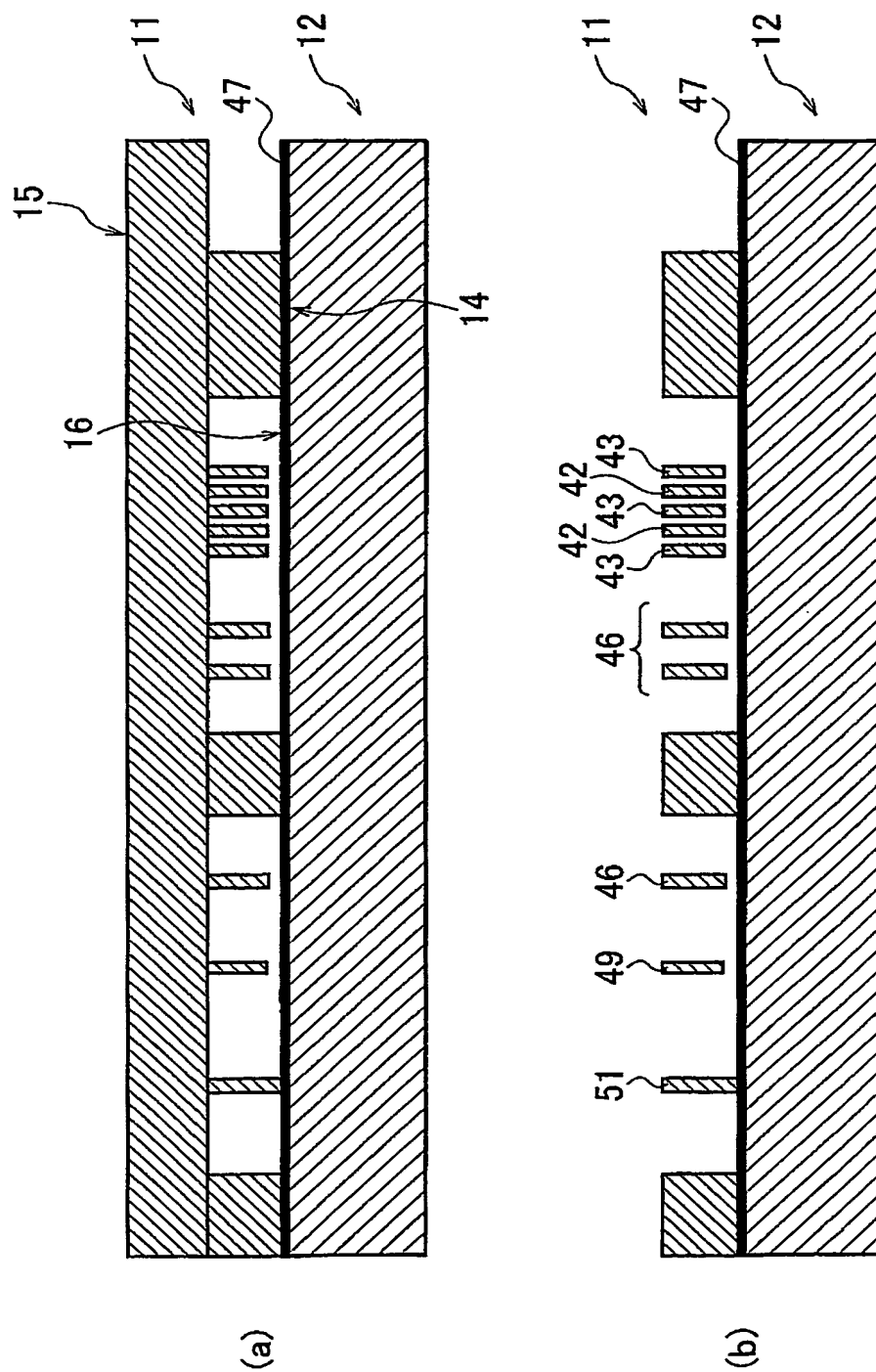
【図 18】



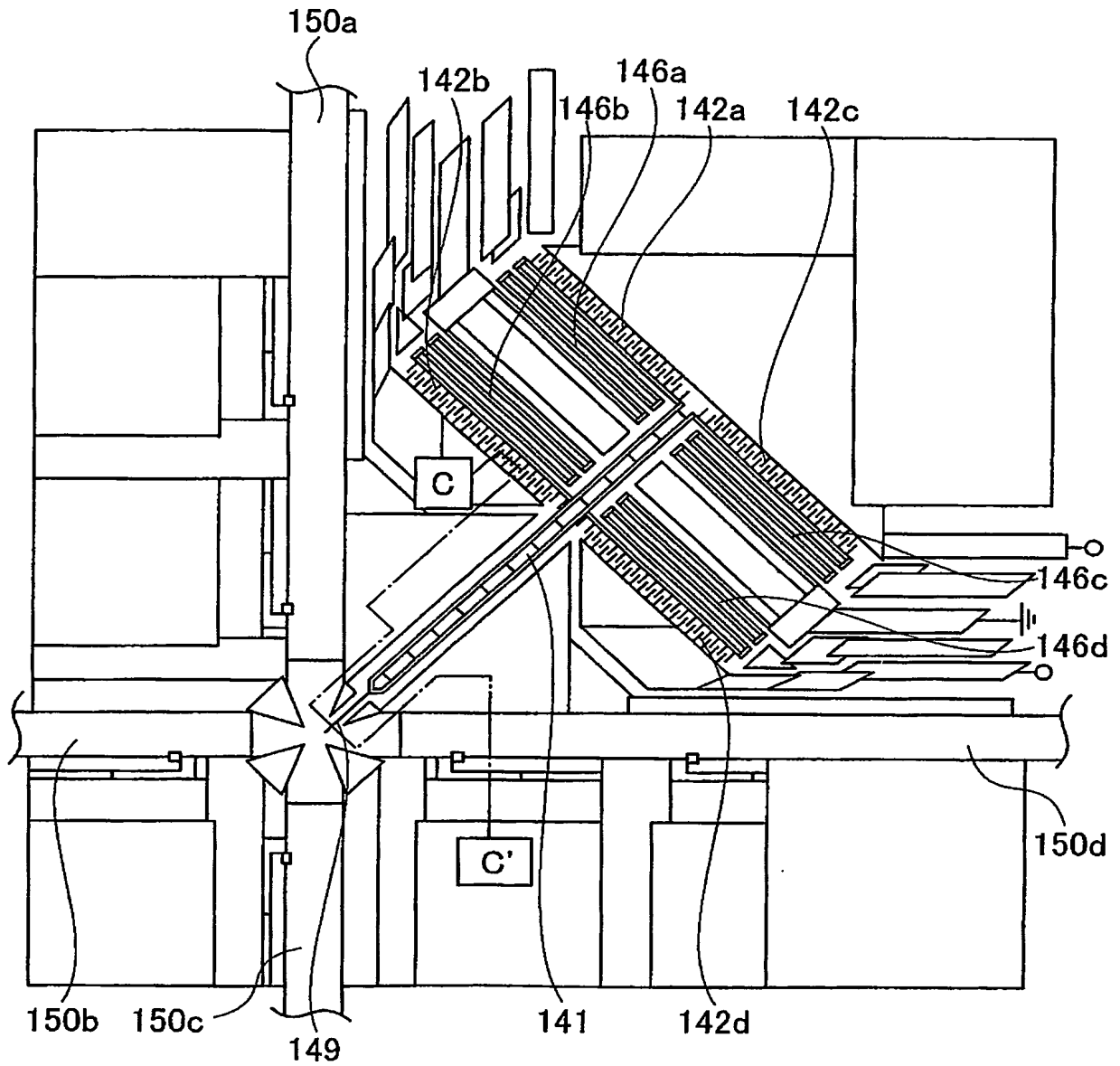
【図 19】



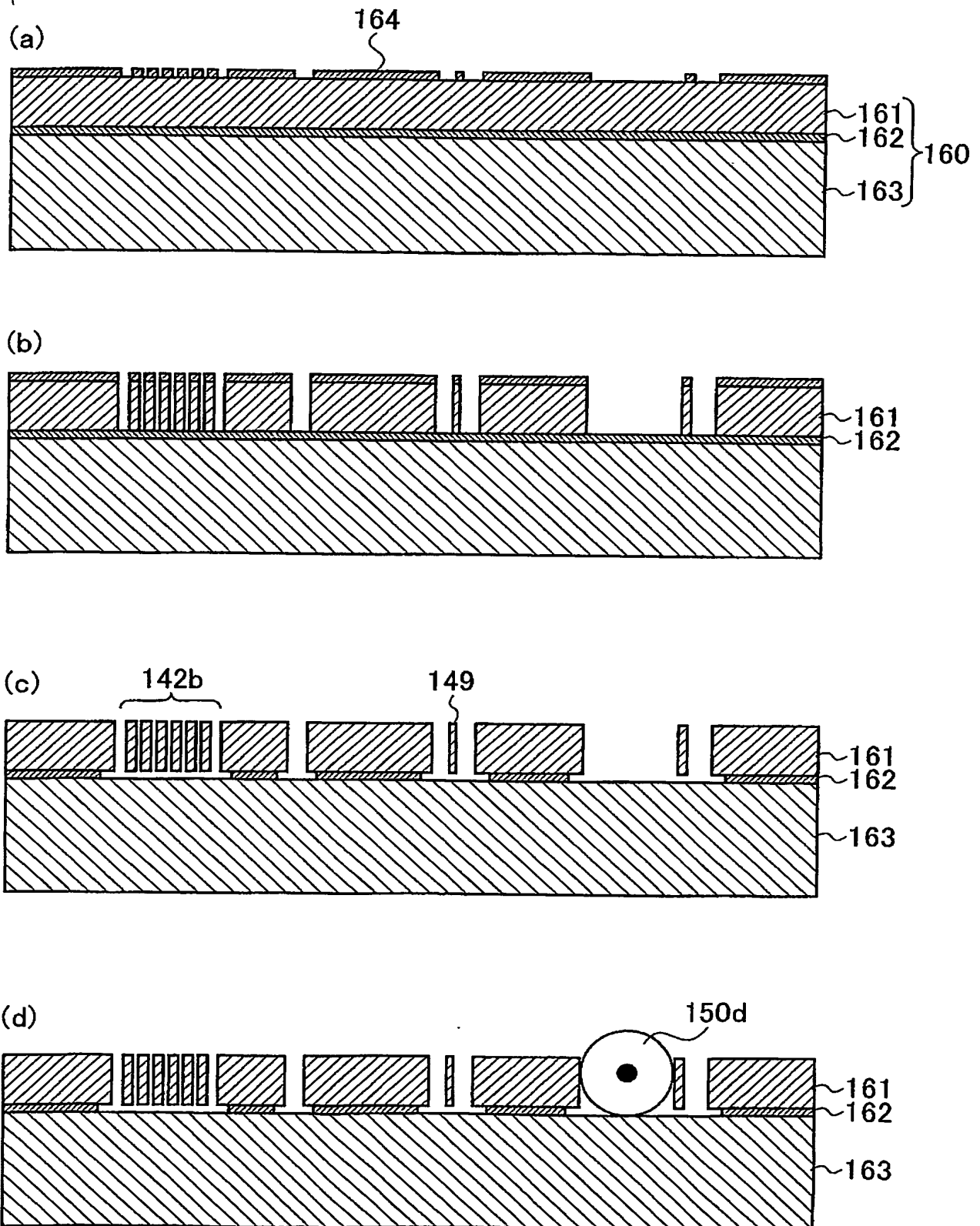
【図 20】



【図 21】



【図 22】



**【書類名】 要約書****【要約】**

**【課題】** 動作不良の発生を抑制し、構造体設計、加工を行う上での構造設計、プロセス設計の自由度が高い 3 次元構造体の製造方法、半導体アクチュエータ及び光デバイスを提供する。

**【解決手段】** 第 1 の基板の第 1 の主表面から第 1 の基板を選択的に除去して凸部を形成する第 1 のパターニング工程と、第 1 の主表面を第 2 の基板の主表面に接合する基板接合工程と、第 1 の主表面に対向する第 2 の主表面から第 1 の基板を一様に除去して、凸部のみを残す裏面エッチング工程とを有する。

**【選択図】** 図 2

特願 2 0 0 3 - 3 2 9 8 4 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 5 8 3 2 ]

1. 変更年月日  
[変更理由]  
住 所  
氏 名

1 9 9 0 年 8 月 3 0 日  
新規登録  
大阪府門真市大字門真 1 0 4 8 番地  
松下電工株式会社



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☒ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**